

Materiais de Mudança de Fase (PCM) para Melhoria do Desempenho Térmico de Edifícios

PCM – Produtos e Aplicações em Construção

BRUNO FILIPE MOURA MARTINS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Orientador: Professor Doutor Vitor Carlos Trindade Abrantes Almeida

Coorientador: Professora Doutora Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira
e Sá

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Avós

AGRADECIMENTOS

À professora Ana Vaz Sá pela disponibilidade no atendimento e acompanhamento neste trabalho, assim como as sugestões que elevaram a qualidade do trabalho.

Ao professor Vitor Abrantes pela orientação desta tese.

A todo o corpo letivo que além dos ensinamentos, influenciaram a minha tomada de decisão que me traz a este momento.

À minha mãe pelo apoio incessante, mas, de maior importância, por me ter dado condições para poder estudar e para concluir esta jornada na minha vida.

Finalmente, à minha família e amigos que por pequenos conselhos sempre tentaram ajudar, a nível motivacional e não só

RESUMO

O crescimento exponencial das populações elevou as capacidades do Homem, na medida em que teve de se superar sucessivamente, na procura por soluções para os problemas que a humanidade, constantemente, se depara. Por vezes, estas soluções provocam efeitos secundários, nem sempre contabilizados, o que geravam efeitos negativos não previstos. A nível ambiental os danos provocados são inequívocos, e como tal chamou a atenção da comunidade internacional, que, por sua vez, tornou esta problemática um assunto internacional e que merece o foco de todos os países para a procura da sua resolução integral.

Uma das faces da crise ambiental remete ao consumo energético desenfreado que abastece a sociedade. A, ainda, dependência de recursos não-renováveis limita o desenvolvimento, mas não pode impedir futuro da humanidade, e, assim, se começou a especular uma crise energética emergente, que levou à preparação e implementação de várias medidas para tal ser prevenido. Estas medidas impelem quer a obtenção de energia com recurso a energias renováveis, como a eólica ou hídrica, quer o desenvolvimento de equipamentos que tenham menores consumos energéticos, e mais eficientes.

As edificações erigidas que albergam as populações são parte significativa do problema energético e da crise ambiental. Muitas diretivas têm sido implementadas para elevar a sustentabilidade do setor de construção, que, por vezes, há que realçar, são obstáculos a diversas empresas do setor. Entre medidas proibitivas e impeditivas existe a falta de medidas ou programas de apoio ao setor para distinguir propriamente as soluções de maior concerne ambiental e energético.

Entre as várias e variadas soluções, no que se refere a consumos energéticos de edifícios, as soluções que excluam o uso de equipamentos mecânicos serão obviamente as mais económicas. Os PCM, materiais de mudança de fase, propiciam esse tipo de soluções, prevenindo o uso de equipamentos mecânicos e capazes de garantir um controlo térmico adequado. Grande parte do consumo energético por parte dos edifícios é devido ao aquecimento ou arrefecimento do ambiente interior. As capacidades de armazenamento térmico destes materiais são capazes de manter intervalos de temperatura curtos, que garantam o conforto dos utilizadores.

Para uma avaliação correta das capacidades destes materiais, para conferir aos edifícios características térmicas que reduzam significativamente os consumos energéticos, deve-se analisar o mercado destes materiais. Procedeu-se então à consulta de empresas que comercializam tais produtos, em que se destacou as de maior renome. Realçaram-se as características e propriedades mais importantes dos produtos e de que modo estes devem ser aplicados.

De seguida, investigam-se projetos que integram produtos PCM de empresas reconhecidas. Os projetos realçados aplicaram em obra os materiais PCM de diferentes modos, para demonstrar a versatilidade destes materiais. Verificou-se posteriormente as suas propriedades, enunciadas pelas empresas produtoras, em obra.

PALAVRAS-CHAVE: energia, material de mudança de fase – PCM, armazenamento térmico, produto, aplicação em obra.

ABSTRACT

The exponential growth of the population increased the capabilities of the human race, by the means that the it had to overcome themselves successively, in order to find solutions for problems that face humanity, continually. For a number of occasions, these solutions had unaccountable secondary effects, that would generate negative effects, not foreseen. Climate-wise the damage inflicted is unequivocal, and for that it raised the attention by the international community, that in turn, made this problematic an international affair and that deserves the focus of all countries in finding it's integral resolution.

One of the climate crisis facets reveals the reinless energetic consumption that feeds society. The, remaining, heavily dependence in non-renewable resources limits the development, but it shouldn't prevent the future of humanity, and with that acknowledgment, started the speculation of an up-rising energetic crisis, that promptly lead to preparation of responsive means and successive implementation of those to prevent any crisis of occurring. This means set to impulse the use of renewable energy resources, like wind energy and hydric, as well as to promote the development of equipment of low energetic consumption, and more efficient models.

The buildings erected that harbor the populations are a significant part of the energetic problem and of the climate crisis. Many directives have been implemented in order to improve the sustainability of the construction sector, which, sometimes, it must be highlighted, present themselves as obstacles to various enterprises within the sector.

Among the various and varied solutions, in the context of building energy consumption, the solutions that exclude the use of mechanical equipment are obviously the more economical. The use of PCM, phase change material, is that exact type of solution, preventing the use of mechanical equipment, and being able to provide adequate thermos control indoors. Large quota of the building's energetic consumption is due to the heating or cooling indoors environment. The capabilities of the thermal storage of these materials can maintain short temperature ranges, that ensure comfort to the users.

For a correct evaluation of the capabilities, that these materials may provide thermal characteristics that reduce significantly the energetic consumption of buildings, it should be analyzed the market of these materials. It was done a research of the enterprises that commercialized these products, and it was highlighted the ones with stronger presence in the market. All the important characteristics and properties were referred as well as the application in buildings.

After, it was conducted a research on projects that integrated PCM products of renowned enterprises. The highlighted projects applied the PCM in different ways, as to show the versatility of these materials. It was done a verification of the properties enunciated by the enterprises, as it is in a building.

KEYWORDS: energy, PCM – phase change material, thermal storage, product, application in building

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA	3

2. ESTADO DA ARTE – MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE – PCM.....

2.1. PCM – INTRODUÇÃO	5
2.2. PCM – MATERIAL	6
2.2.1. CLASSIFICAÇÃO	8
2.2.1.1. ORGÂNICOS	9
2.2.1.2 INORGÂNICOS.....	9
2.2.1.3. MISTURAS.....	10
2.2.1.4 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PCM	11
2.2.2. MODOS DE INCORPORAÇÃO	12
2.2.2.1. IMPREGNAÇÃO.....	12
2.2.2.2 IMERSÃO.....	12
2.2.2.3. ENCAPSULAMENTO	12
2.3. PCM – APLICAÇÕES	15
2.3.1. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO	15
2.3.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	15
2.3.2.1 CRITÉRIOS GERAIS	15
2.3.2.2 CONFORTO TÉRMICO	17
2.3.2.3 ESTABILIDADE E DURABILIDADE	17
2.3.2.3 PCM – EXEMPLOS DE INTEGRAÇÃO EM SISTEMAS PASSIVOS	17
2.3.3.1. ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO	18
2.3.3.2. COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO	19

3. PCM NO MERCADO	23
3.1. ENQUADRAMENTO	23
3.2. REGULAMENTAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DO PRODUTO	23
3.3. PCM – PRODUTO NO MERCADO	23
3.3.1 PCM- SUBSTÂNCIA PURA	24
3.3.1.1 BASF CHEMICAL COMPANY - MICRONAL® PCM	24
3.3.1.2 ENTROPY SOLUTIONS LLC - PURETEMP	26
3.3.1.3 PCM PRODUCTS LTD	27
3.3.1.4 RUBITHERM TECHNOLOGIES GMBH	30
3.3.1.5 DUPONT - ENERGAIN®	32
3.3.1.5 MCI TECHNOLOGIES - INERTEK	33
3.3.2 PCM – PRODUTOS DECORRENTES PARA APLICAÇÃO EM OBRA	34
3.3.2.1 ENTROPY SOLUTIONS	35
3.3.2.2 WINCO TECHNOLOGIES	36
3.3.2.3 KNAUF GROUP	38
3.3.2.4 GLASSX	39
3.3.3 OUTROS PRODUTOS NO MERCADO	40
4. PCM - CASOS DE APLICAÇÃO	43
4.1. INTRODUÇÃO	43
4.2. CASO 1 - HOTEL ADREMA, ALEMANHA	43
4.3. CASO 2 - PROJETO MIZU, FRANÇA	46
4.4. CASO 3 - HABITAÇÃO DE BETÃO LEVE, FRANÇA	50
4.5. CASO 4 – SIR JOHN LAING BUILDING, REINO UNIDO	52
4.6. CASO 5 – DANESHILL HOUSE, REINO UNIDO	53
4.7. CASO 6 – ICON INOVATIONS CENTRE, REINO UNIDO	55
5. CONCLUSÕES	59
4.1. CONCLUSÕES GERAIS	59
4.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
7. ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Representação gráfica do processo de ebulição da água	6
Fig. 2 - Gráfico representativo das entalpias de alguns materiais.....	7
Fig. 3 – Princípio de funcionamento de um exemplar de PCM encapsulado.....	7
Fig. 4 - Diagrama com as diferentes espécies de PCM.....	8
Fig.5 – Esquema representativo do comportamento térmico do PCM microencapsulado	12
Fig. 6 - Exemplos de PCM macroencapsulados	13
Fig.7 – Diferentes morfologias de cápsulas	14
Fig. 8 - Esquema de teto falso com placas de gesso com PCM	20
Fig.9 – Esquema representativo dos envidraçados da GlassX	21
Fig. 10 - BASF Micronal® sob a forma de dispersão líquida e de pó.....	25
Fig.11 – PureTemp, à esquerda o produto como é comercializado, na figura da direita mostra o produto em estado líquido, à esquerda e pulverizado à direita	26
Fig. 12 - Diferentes formas dos produtos disponibilizados pela PCM Products Ltd.....	27
Fig.13 – Exemplo do PCM da linha SP.....	30
Fig. 14 - Exemplos do PCM da linha RT	31
Fig.15 – Exemplo de PCM da linha PX.....	32
Fig. 16 - Aproximação na ordem das 1000x das microcápsulas que compõem o Inertek	33
Fig. 17 - Granulometria das microcápsulas Inertek	34
Fig.18 – Produtos macroencapsulados disponibilizados pela Puretemp	35
Fig. 19 - Produtos macroencapsulados disponibilizados pela Puretemp	36
Fig. 20 – Microvesl a solução microencapsulada da PureTemp	36
Fig. 21 - Forma de comercialização do produto Enerciel.....	37
Fig. 22 – Exemplo comercializado do produto ThermoConfort.....	37
Fig. 23 - À esquerda é representado esquematicamente um painel Comfoartboard e à direita temos a sua colocação.....	38
Fig. 24 - Esquemas representativos do painel Smartboard de diferentes perspectivas.....	39
Fig. 25 - Aspeto do GlassX quando o PCM está em estado líquido, em estado cristalizado e em transição de fases, respetivamente	40
Fig. 26 – Vista do rio do Hotel Adrema	44
Fig. 27 - Planta tipo de um dos pisos do edifício, destacado a verde está a “sala de teste”.....	44
Fig. 28 – Esquema representativo das “salas de teste”.....	45
Fig. 29 - Gráfico da radiação solar e das temperaturas medidas para a semana de 18 a 25 de agosto.....	46

Fig. 30 - Gráfico da radiação solar e das temperaturas medidas para os dias 21 e 22 de agosto	46
Fig. 31 - Vista Sul do pequeno escritório	47
Fig. 32 - Pormenor Construtivo do pavimento	48
Fig. 33 - Pormenor Construtivo da parede	48
Fig. 34 - Gráfico de temperaturas no interior do pequeno escritório em junho de 2015	49
Fig. 35 - Edifício de habitação do sul de França	50
Fig. 36 - Aplicação de THERMO CONFORT	51
Fig. 37 - Revestimento THERMOCONFORT exemplificado numa parede	51
Fig. 38 - Planta do 2º piso onde foi instalado o PCM no teto	52
Fig. 39 TubelCE e a sua disposição no teto falso	52
Fig. 40 - Na imagem da esquerda vê-se um esquema representativo do funcionamento do sistema “Cooldeck”; Nas imagens da direita observam-se: na de cima a colocação do PCM em placas de aço inseridas no tecto falso, na de baixo é o sistema de condutas de ventilação.....	54
Fig. 41 - iCon Inovattions Center, Daventry	55
Fig. 42 - Planta do iCon Inovattions Center, Daventry.....	56
Fig. 43 - Aplicação dos painéis que contêm Energain.....	57

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Caraterísticas térmicas de materiais orgânicos	9
Quadro 2 - Caraterísticas térmicas materiais inorgânicos	10
Quadro 3 – Caraterísticas térmicas das misturas.....	10
Quadro 4 - Tabela dos diferentes tipos de Microcápsulas comercializados pela BASF	26
Quadro 5 – Tabela dos diferentes tipos de PureTemp	27
Quadro 6 - Sais hidratados comercializados.....	28
Quadro 7 – Compostos orgânicos comercializados	29
Quadro 8 - PCM sólido-sólido comercializados.....	29
Quadro 9 – PCM do tipo SP para diferentes temperaturas de fusão	30
Quadro 10 - PCM do tipo RT para diferentes temperaturas de fusão	31
Quadro 11 – PCM do tipo PX para diferentes temperaturas de fusão	32
Quadro 12 - Caraterísticas principais do Energain	33
Quadro 13 – Caraterísticas principais da gama Inertek.....	34
Quadro 14 - Propriedades de outros PCM disponíveis no mercado	40
Quadro 15 – Propriedades de outros componentes com PCM disponíveis no mercado	42
Quadro 16 - Consumos energéticos caraterizados antes e depois da aplicação do PCM.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de comparação das caraterísticas principais dos PCM sólido-líquido.....	11
Tabela 2 - Tabela de critérios de avaliação de PCM.....	16
Tabela 3 – Valores das necessidades térmicas que cumprem valores da certificação Passivhaus.....	49

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Símbolo	Unidade	Designação
λ	W/(m.K)	Condutibilidade térmica
c_p	J/(kg.K)	Calor específico
C	J/(m ³ .K)	Calor específico volumétrico
ρ	kg/m ³	Massa volúmica
H	J/kg	Entalpia
L	J	Calor latente
T	°C	Temperatura
T_l	°C	Temperatura de fusão
Q	W	Fluxo de calor
T_s	°C	Temperatura da superfície
T_f	°C	Temperatura do fluido
G	W/m ²	Irradiação
α_s	-	Coefficiente de absorção solar
h_r	W/(m ² .K)	Coefficiente de transferência de calor por radiação
I_g	W/m ²	Radiação solar total incidente numa superfície horizontal por unidade de área

PCM – material de mudança de fase

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O presente trabalho foca-se na avaliação e caracterização de novos materiais a introduzir na construção de edifícios, com o intuito de garantir e elevar a sustentabilidade do sector, em âmbito nacional. A procura por novas matérias e novas práticas que alcancem melhores resultados, no plano da conservação energética, deve-se ao atual contexto mundial. Assim o tema em questão é apresentado e discutido como uma alternativa na tentativa de atingir metas estabelecidas.

A implementação de práticas sustentáveis na construção civil nacional teve início há vários anos, com a afiliação à comunidade económica europeia, atualmente União Europeia, com consequente elevação dos seus parâmetros, desde então, regendo-se pelas suas diretivas, que por sua vez, se tornam mais restritivas. Os princípios de sustentabilidade têm sido aplicados a todos os sectores da economia. No entanto, na construção, os objetivos a nível ambiental e energético, são especialmente mais difíceis de atingir devido à indubitável característica de uma obra ser única. Este princípio de singularidade (não confundir com o conceito proveniente de direito penal) embora não impeça a aplicação de metodologias de gestão sustentável reconhecidas, estas devem ter em consideração o preponderante fator humano da indústria da construção, o qual não permite, porventura, alcançar resultados do ponto de vista de otimização atingidos noutras áreas. Contemporaneamente, aliado ao fator descrito previamente, a fragilidade da economia, em geral, é mais um entrave à sustentabilidade da indústria da construção. Embora este estudo não recaia sobre as consequências da economia portuguesa na construção, será importante denotar a dificuldade da generalidade das empresas do sector, o que dificulta o alinhamento com as suas congéneres europeias. Como referido, as diretivas europeias, de hoje, são mais exigentes e com as mais recentes previsões acerca do consumo energético, e do futuro previsto relativamente aos recursos energéticos, aliadas à instabilidade social e política europeia, com eleições para o parlamento europeu em 2019, estas, as indicações da comissão europeia, serão, com certeza, mais profundas no que ao controlo energético e ambiental se refere. Atualmente, no quadro europeu, objetivou-se: redução em 20% do consumo energético; alcançar os 20% a nível de eficiência energética; 20% do total de recursos energéticos deve provir de energias renováveis [1]. Portugal, através do acordo de parceria Portugal 2020, aceitou os termos e neste mesmo programa apresenta diversos instrumentos para impelir a concretização destes mesmos objetivos [2], [3]. Em relação a esta temática, o alcance e a proficuidade dos referidos instrumentos é debatível, discussão essa que não será feita neste trabalho, apresentando-se apenas estes protocolos para referência do trabalho.

Além das circunstâncias europeias, o mundo, como um todo, está num impasse, quanto à resolução dos problemas ambientais e energéticos. Embora as maiores instâncias mundiais, aparentemente, estejam em consonância quanto à urgência das questões energéticas, com a irreverência dos resultados eleitorais de certos países, mais concretamente as eleições norte-americanas, poderemos vir a assistir a uma reversão deste tema para um plano secundário. Assim sendo, as metas europeias e as propostas pela agência mundial da energia, IEA, podem vir a ser alteradas, e não no sentido, previsto no parágrafo

anterior, de maior exigência. Contudo, esta dissertação toma como concretas e alcançáveis os objetivos energéticos e ambientais traçados pela comunidade europeia. Pois, são claros e cientificamente comprovados os efeitos consequentes da ação do Homem no planeta e a resolução iniciada há largos anos, meados do século XX, desencadeou um processo irreversível de otimização e contínuo melhoramento da economia global e das diversas indústrias. Portugal, com um sector de Construção muito relevante para a economia do país, tem e deve de elevar os, já altos padrões da sua atividade. Para se dar uma resposta global, é necessário desconstruir o problema para que sejamos capazes de uma resolução eficaz. No que remete à Edificação, várias alternativas têm surgido, no sentido de prover sustentabilidade no desenvolvimento de um projeto, com aplicação nas diferentes fases do empreendimento, desde a sua conceção à execução e posterior manutenção.

Como referido, no que concerne ao sector da Edificação, o consumo energético elevado é um problema central da crise energética e ambiental, e, como tal, existe a necessidade de encontrar soluções que dispensem o uso de equipamentos com consumos energéticos elevados e, ainda, interajam com o meio, envolvente e interior, de forma a garantir condições desejáveis. Como tal, a introdução dos materiais de mudança de fase no mercado como alternativa sustentável é um passo importante na resolução, em parte, da problemática apresentada. Estes materiais já são utilizados em várias atividades que recorrem ao armazenamento energético, devido à sua alta capacidade de retenção de calor. A energia calorífica pode ser armazenada de três formas: energia química, calor sensível e calor latente. As maneiras referidas de reter calor são amplamente usadas, no entanto, o armazenamento de calor latente é o mais apelativo, devido à sua alta capacidade de armazenamento e a insignificante variação da temperatura, decorrente do processo de retenção e libertação de calor. Este processo, de armazenamento, é, de certa maneira, análogo ao comportamento de um edifício durante a sua vida, recebe calor do exterior, através da radiação solar e de outros emissores, e, ainda, do interior, dos seus utilizadores, assim, torna-se evidente a procura pela melhor forma de incluir estes materiais na atividade de construção. É o modelo do armazenamento de calor latente que mais interessa relacionar com a construção, pois responde tanto ao problema do armazenamento de calor, que, posteriormente pode ser devolvido ao meio, como à questão do conforto térmico. A relação interdependente entre estes dois conceitos é óbvia, pois, se o edifício armazena muito calor os seus utilizadores não experienciam, de certo, conforto no ambiente interior. Como tal, existe a imperiosidade de garantir o denominado, conforto térmico. Recorremos, portanto, aos materiais de mudança de fase, com as características referidas, para podermos prover às edificações, ambientes regulados para os utilizadores. Apesar da atratividade do PCM, acrónimo em inglês para “phase change material”, vários estudos ainda decorrem sobre a sua aplicação prática na construção, de modo a avaliar como pode ter um impacto significativo no cumprimento das metas previamente discutidas e aos problemas de foro económico e energético do sector. Este trabalho irá se debruçar no modo como o PCM se apresenta, hoje, no mercado e o acesso aos produtos que advém destes materiais. O que impele, no entanto, o trabalho em causa é a potencialidade destes materiais na resolução de adversidades do âmbito energético, ambiental e de ainda garantir condições interiores de conforto, que dispensam o recurso a meios mecânicos de consumos elevados. O facto de ainda se ter de explorar as formas como o PCM deve ser aplicado, com o intuito de obtenção de melhores e mais eficientes resultados, requer estudos a vários níveis, quer de perspetiva científica, i.e., os valores obtidos experimentalmente das características físico-químicas, quer do ponto de vista da sua aplicação numa dada obra para determinado efeito. Recorre-se, destarte, a artigos científicos e diversos outros estudos, de foro científico e colegial, para se poderem apresentar as diversas soluções, que envolvem os PCM, com um dado grau de avaliação técnica, científica, e mais importantemente com um parecer referenciado.

1.2. OBJETIVOS

O trabalho decorrente irá incidir sobre o impacto dos PCM na construção, tanto a nível do seu uso em obra, em que se destaca as vantagens consequentes do seu uso, principalmente como resposta a uma procura de aumento de eficiência energético, assim como na perspetiva de mercado, isto é, na avaliação

dos produtos comercialmente acessíveis. Como relatado anteriormente, as exigências a nível de sustentabilidade e energia obrigam a uma procura incessante de soluções económicas e eficientes, como tal, esta dissertação debruça-se precisamente no estudo dos materiais de mudança de fase como alternativa na resposta aos obstáculos referidos. O estudo do PCM como sistema de armazenamento é abordado em diversos artigos e peças científicas, e como tal, existe bastante informação em relação às suas propriedades físicas e químicas. Com recurso a estes estudos proceder-se-á a uma análise pragmática do seu conteúdo em relação às características dos PCM em geral, destacando-se, convenientemente, as suas potencialidades, e como as efetivar, e, claro está, as desvantagens, na falta de melhor termo, e como estas podem ser contornadas ou até, mesmo, corrigidas. No seguimento da análise do material de mudança de fase genérico, será feito, como que, um estudo de mercado, isto é, uma apresentação de produtos comerciais PCM e, com recurso quer a catálogos comerciais das empresas produtoras do PCM quer a trabalhos de foro científico, que contém uma avaliação das suas valências e outras propriedades de relevo. Posteriormente apresentar-se-ão casos práticos de uso destes materiais, com uma ulterior análise técnica dos benefícios que providencia e dos aspetos negativos que podem ser solucionados de várias formas. Estes objetivos propostos têm um motivo único de compreender a real disponibilidade deste material para uso em obra, principalmente no plano nacional. Com as diretivas expostas no subcapítulo anterior, que acarretam objetivos bastante exigentes, e ainda com os programas de apoio para alcançar estas metas, é necessária uma avaliação pertinente da potencialidade destes produtos no mercado. É imperioso, portanto, analisar as condições em que estes se apresentam e se consoante as contingências que a construção nacional vivencia estamos mesmo perante uma alternativa sustentável. Este será, portanto, o móbil deste trabalho.

1.3. ESTRUTURA

Consignados os objetivos, parametrizamos o trabalho decorrente. A dissertação, no seu cerne, debate variados artigos científicos referenciados sobre os materiais de mudança de forma e, posteriormente, avalia os produtos disponíveis no mercado de acordo com as conclusões retiradas do debate prévio. Posteriormente, apresentam-se exemplos de edifícios com alguma forma de inclusão dos PCM e analisam-se quer o seu modo de integração do material quer os resultados registados a nível energético. É fulcral o estudo assertivo destes materiais para garantir o desempenho que permita alcançar poupanças energéticas significativas, para, posteriormente, retirarem-se dados que propiciem investigações mais focalizadas em aspetos quer positivos quer negativos, como se irá expor. De acordo com as delineações feitas, o trabalho organiza-se segundo o seguinte sistema:

1 – Introdução

Esclarece-se o ponto de partida do trabalho, contextualizando-o nos planos energéticos, ambientais e consequentemente económicos. Definem-se, ainda, os propósitos do trabalho em questão e descrevem-se, ainda, os moldes em se desenvolve.

2 – Estado da arte – material de mudança de fase – PCM

Apresentam-se os diversos tipos destes materiais que existem e detalham-se as suas propriedades. Contiguamente, analisa-se como estes materiais são melhorados para uma performance otimizada. Introduzem-se ainda neste capítulo as formas como os PCM são utilizados numa obra e de que maneira cumprem a sua função.

3 – PCM no mercado como matéria-prima e como produto

Introduzem-se as condições do mercado, onde os produtos decorrentes destes materiais se inserem, e da regulamentação vigente, do ponto de vista de certificação do produto, como também, a da aplicada para certificação energética. Apresentam-se as empresas de maior renome, e destacam-se trabalhos referenciados sobre os seus produtos, incluindo avaliações dos produtos que disponibilizam.

4 – Casos de estudo da integração de PCM e produtos derivados em edifícios

Breve estudo de projetos que incluem PCM nos edifícios. Os casos analisados são habitações unifamiliares, edifícios de habitação multifamiliar e de serviços. Pretende-se, essencialmente, compreender a aplicação do PCM e efeitos benéficos da sua incorporação para diferentes tipologias de edifícios.

5 – Conclusões

Finalmente, neste capítulo discute-se a presença no mercado dos produtos PCM e os resultados da utilização deste material em construção de edifícios. Discute-se, ainda, as críticas apontadas ao uso do PCM, quer os entraves do material para uso em obra quer os problemas de ineficiência a nível térmico. Conclui-se com a apresentação das perspetivas de futuro dos PCM no sector da construção e de sugestões para futuros trabalhos.

2

ESTADO DA ARTE - MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE - PCM

2.1. PCM – INTRODUÇÃO

PCM, como são amplamente reconhecidos, são materiais usados devido à sua capacidade de sustentar e libertar grandes quantidades de calor, a temperaturas constantes, na mudança de estado [4]. Daí os consecutivos estudos sobre estes materiais, pois têm a potencialidade de regular um dado ambiente, termicamente. Como iremos ver existem diversos materiais de mudança de fase, contudo, apenas alguns espécimes têm a potencialidade de serem usados em edifícios. Neste capítulo, primeiramente, estudar-se-ão as características principais destes materiais e de seguida apresentar-se-ão a integração destes materiais, ou de produtos decorrentes, na construção.

O exemplo mais comum de um material de mudança de fase será a água. Ora analisemos, então, o processo de ebulição da água, para melhor compreensão do interesse no uso destes materiais em construção. Ao fornecer-se calor a uma certa quantidade de água, no estado líquido, e a sua temperatura vai aumentar de acordo com o calor que acumula. Ao atingir a temperatura de 100° C, inicia-se o processo de ebulição e a água começara a transitar de estado, de líquido para gasoso. No entanto, para esta mudança de fase ocorrer, é necessário calor adicional para as moléculas de água conseguirem quebrar as suas ligações, o denominado calor latente. Na figura 1 encontra-se representada uma simplificação do processo de evaporação da água. No gráfico representativo identificam-se duas formas de armazenamento de calor por parte das moléculas de água. Verifica-se que à medida que as moléculas de água acumulam calor a temperatura sobe, até se atingir o ponto de ebulição. Esta quantidade específica de calor, que neste caso foi absorvido, denomina-se calor sensível. Durante a fase líquida da água, as ligações intermoleculares mantiveram-se e a única alteração na substância foi a sua temperatura. Atingido o ponto de ebulição, a substância estagna na temperatura de 100°C, mas as moléculas continuam a acumular energia calorífica. Esta absorção de calor cumulativa durante a transição de estado da matéria deve-se à necessidade, por parte das moléculas, de obterem mais energia para poderem romper as suas respetivas ligações e, por conseguinte, alterarem o seu estado, de líquido para gasoso. Esta quantidade de calor armazenada durante a transição de fase é conhecida, como já referido, por calor latente. Acrescenta-se ainda que a entalpia da evaporação da água toma valores na ordem dos 2260 kJ/kg e, por mera observação do gráfico da figura 1, é claramente superior ao calor armazenado pelas moléculas de água no intervalo de temperaturas de 0°C a 100°C, que ronda os 420 kJ/kg.

Como nota, há a registar que este valor da temperatura da ebulição da água varia consoante os níveis de pressão e, portanto, este valor de 100° Celsius só é preciso para valores de pressão atmosférica ao nível do mar (pressão de 1 atmosfera, equivalente a 760mmHg). Assim, para efeitos de rigor científico, a definição consensual de temperatura de ebulição será temperatura para qual a pressão de vapor líquido iguala a da pressão atmosférica. [5]. Considerem-se, então, as condições de pressão atmosférica ao nível do mar. Quando se atinge a temperatura de 100° Celsius, a água começara a transitar de estado, de

líquido para gasoso. No entanto, para esta mudança de fase ocorrer, é necessário calor adicional para as moléculas de água conseguirem quebrar as suas ligações.

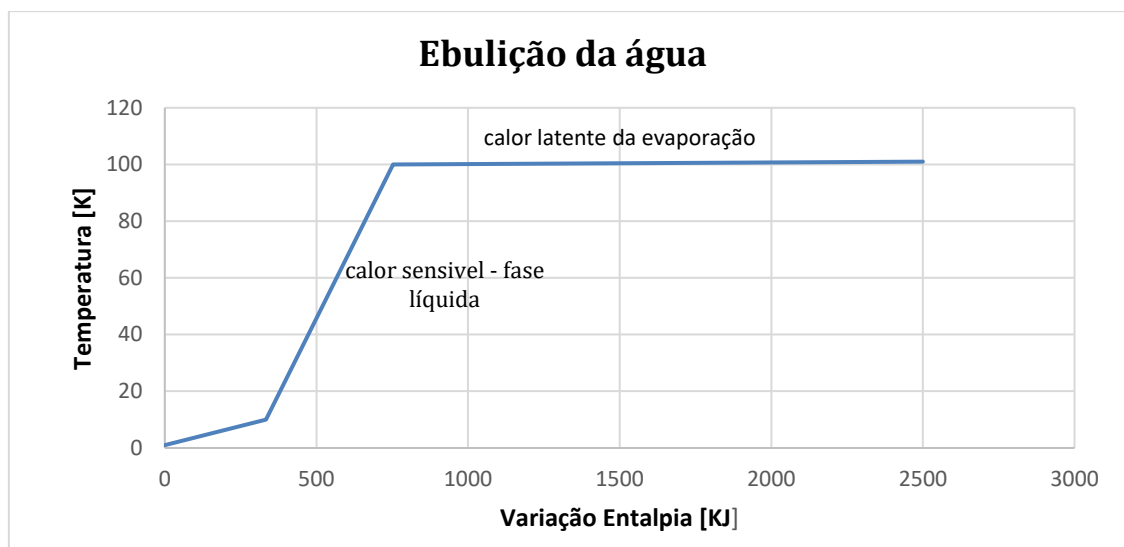


Figura 1 - Representação gráfica do processo de ebulição da água

Já o processo de condensação será o inverso do fenómeno de ebulição, ou seja, em vez de absorção de energia, por parte das moléculas constituintes, estas libertarão calor, na formação das ligações intermoleculares. Assim, evidencia-se a vantagem do recurso a materiais de mudança de fase, no controlo térmico de uma edificação. São, portanto, substâncias que, para certos intervalos de temperatura, mudam de fase e perfazem trocas de calor com o ambiente, quer na acumulação de energia quer na sua respetiva libertação [6]. O exemplo da evaporação da água, teve como intuito a apresentação de um PCM comum e conhecido assim como a introdução dos conceitos de calor sensível e calor latente. Ao longo deste capítulo identificar-se-ão os materiais de mudança de fase mais apropriados para construção civil. A água que tem temperaturas de mudança de fase, para condições atmosféricas padrão, de 0° centígrados (fase sólida para líquida, e vice-versa) e de 100° centígrados (fase líquida para vapor, e vice-versa), não será dos materiais mais apropriados, pois, para esses valores o conforto térmico não pode ser salvaguardado. De seguida iremos, então, conhecer os tipos de PCM existentes assim como as suas características mais influentes. Proceder-se-á, ainda, à discussão das diferentes formas que os materiais de mudança de fase podem ter na construção e os respetivos princípios de funcionamento

2.2. PCM – MATERIAL

Os PCM, como já referido, são materiais de armazenamento de calor latente [7]. A formação e a quebra de ligações intermoleculares são a base do funcionamento destes materiais, que, por conseguinte, absorvem e libertam energia, sob forma de calor, do e para o meio. Anteriormente foi apresentada a água como um exemplo, comum, de um material de mudança de fase, e prontamente foi descartada como material a incluir no estudo desta dissertação. Isto, pois, os intervalos de temperatura nas mudanças de fase da água são inoportunos para o ser humano. Assim, e como se irá ver mais à frente, materiais com temperaturas de mudanças de fase compreendidas entre 20° e 32° Celsius, serão os mais apropriados para garantir o conforto térmico no interior dos edifícios [8]. Ainda, pela observação do gráfico apresentado na figura 2, facilmente se observa a potencialidade dos PCM, de mudança de fase sólida-líquida, como retentores de calor em comparação à água e a outros materiais usualmente introduzidos na construção.

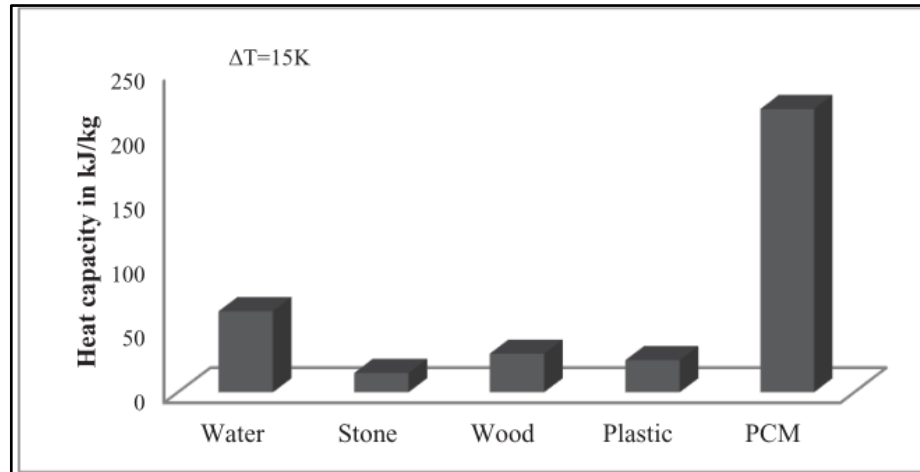


Figura 2 - Gráfico representativo das entalpias de alguns materiais [9]

Como, sucintamente, descrito no parágrafo anterior, o interesse da incorporação de materiais de mudança de fase na construção deve-se ao facto deste material, através de mudanças de estado, absorver e libertar calor, a temperatura constante [4]. Como apresentado no capítulo anterior, as demandas energéticas, quer devido a princípios impostos a si mesmo [1] quer devido a condicionamentos de produção e consumo de energia, estão na ordem do dia, tanto no plano internacional como no nacional [10]. Assim, os materiais de mudança de fase, devido às potencialidades acima referidas, destacam-se devido à possibilidade de serem um recurso, que torna os edifícios mais eficientes a nível energético, ao ponto de se evitar a necessidade de recorrer a outro sistema de geração/absorção de calor (sistemas de aquecimento ou sistemas ar-condicionado, que têm consumos energéticos significativos).

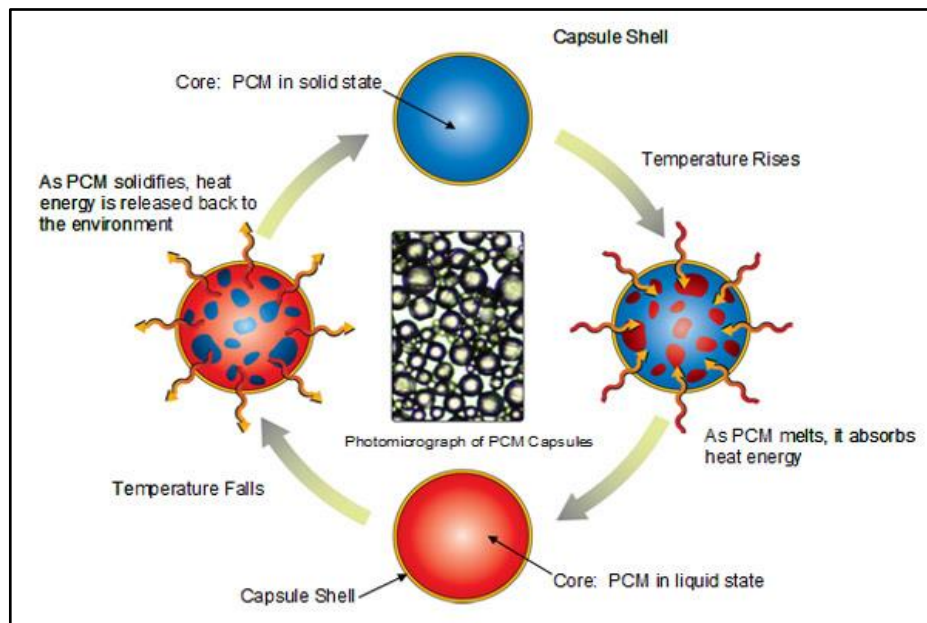


Figura 3 – Princípio de funcionamento de um exemplar de PCM encapsulado [11]

A figura 3 demonstra como, neste caso, um dado PCM encapsulado, liberta e armazena calor consoante as mudanças de fase, solidificação e fusão, respetivamente. O comportamento, análogo ao do processo de ebulição da água, de retenção de calor deve-se à necessidade energética, por parte das moléculas do

PCM, para poderem quebrar as suas ligações intermoleculares, e por conseguinte, alterarem a sua fase, de sólido para líquido.

2.2.1. PCM - CLASSIFICAÇÃO

Os materiais de mudança de fase são categorizados segundo a transição de fases, i.e., a alternância entre os estados da matéria, mudança de sólido para líquido, sólido para gás, entre outros. Na figura 4 é apresentado um diagrama que refere os 4 tipos de PCM usualmente usados, nas diversas indústrias, que são: gás-líquido; sólido-gás; sólido-líquido; sólido-sólido. Os dois primeiros, gás-líquido e sólido-gás têm uma utilidade limitada pois necessitam de grandes volumes na aplicação dos respetivos sistemas onde se integram [12]. Este trabalho irá incidir-se, fundamentalmente, nos materiais de mudança sólido-líquido, os quais foram e são alvo de estudos, de várias perspetivas e profundidades, e, acrescenta-se, com vários produtos já comercialmente disponíveis e utilizados em obra. Os PCM sólido-sólido apresentam valores de entalpia similares aos anteriormente referidos e com outras, aparentes vantagens, destaca-se entre estas o facto de não haver matéria no estado líquido o que facilita o uso e o manuseamento do material, e obviamente, o não vazamento do PCM. Embora, aparentemente, como vantagens significativas em relação aos sólido-líquido, existem poucos estudos que abranjam estes materiais e, como tal, estes materiais não são avaliados com a mesma profundidade dos materiais de mudança sólido-líquido, fazendo-se apenas uma breve referência. Atente-se, portanto, aos PCM de transição sólido-líquido. Estes podem ser substâncias puras ou misturas. Um exemplo de uma substância pura será o da água. São basicamente compostos por um só tipo de molécula, em que a mudança de estados é caracterizada por uma função analítica no espaço dos parâmetros termodinâmicos (temperatura, pressão e volume). Em relação às misturas, e como descrito pelo nome, são a combinação de duas ou mais substâncias. Estas podem ser eutéticas ou não eutéticas, em que as primeiras têm mudanças de fase num intervalo de temperaturas enquanto as não eutéticas sofrem mudança de fase para valores exatos de temperatura. No entanto, usualmente, os PCM são, apenas, categorizados como orgânicos, inorgânicos e misturas. No diagrama da figura 4 identificam-se diversos tipos de PCM de mudança de fase sólido-líquido e alguns exemplos de sólido-sólido. Em relação às misturas, não representadas no diagrama, apenas se adianta que são obtidas pela combinação entre substâncias orgânicas, inorgânicas e ambas, ou seja, podem ser misturas do tipo orgânica-inorgânica, orgânica-orgânica ou inorgânica-inorgânica.

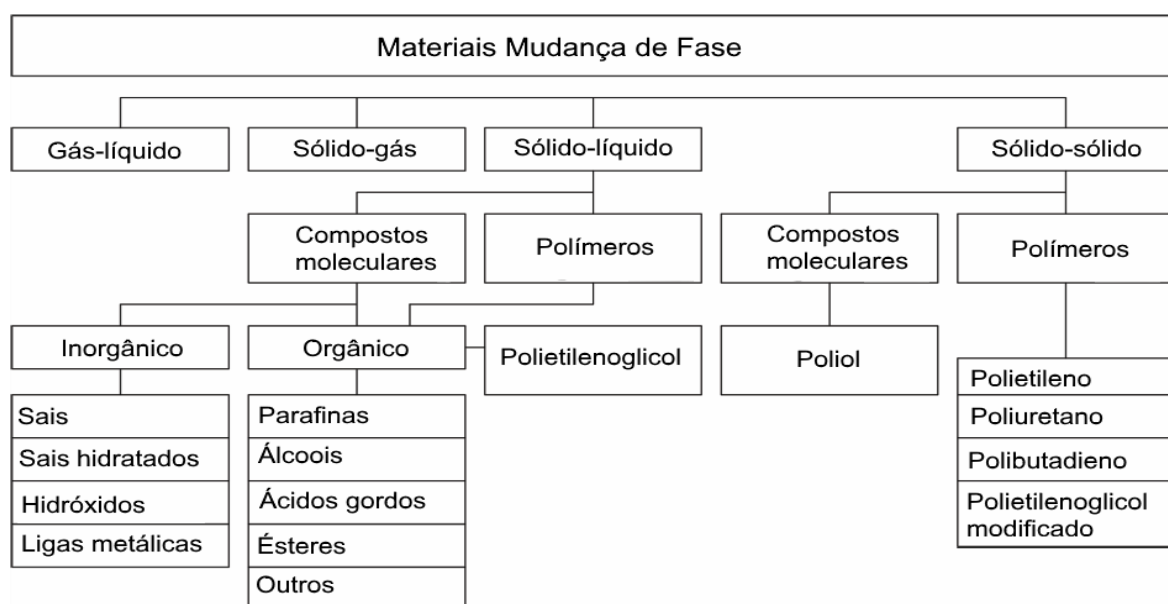


Figura 4 – Diagrama com as diferentes espécies de PCM [13]

2.2.1.1. Orgânicos

Compostos à base de carbono, como o nome indica, em que as parafinas são os espécimes mais comuns, e mais apelativos no âmbito onde este trabalho se insere. Estas mesmo, têm as temperaturas de fusão mais consonantes com as exigidas, com valores, normalmente, de 20° a 32°C. A sua fusão é congruente, isto é, na mudança de fase de sólido para líquido, as moléculas não se decompõem nos seus elementos, mantendo-se, integralmente, a estrutura da parafina. São considerados quimicamente estáveis, relativamente às outras opções de PCM viáveis. Têm, também, uma grande capacidade de armazenamento calorífico, na ordem dos 200KJ/Kg, durante o processo de fusão, o que os torna num material com bastante potencial. No entanto, as parafinas apresentam particularidades que necessitam de ser contabilizadas. Entre as quais, a inflamabilidade do material e o facto de libertarem gases tóxicos durante a combustão, o que representa um risco acrescido na implementação destas em obra. Estes compostos apresentam ainda uma baixa condutibilidade térmica, o que constitui um problema significativo, tendo em conta que se perspetiva um sistema de armazenamento passivo. Demarca-se ainda a possibilidade de variação do volume na transição de fases. Existem, para lá das parafinas, uma, considerável, variedade de materiais orgânicos. Entre eles temos os ácidos gordos, ésteres, álcoois e glicóis. Hale et al [14] identifica no seu trabalho, aproximadamente, setenta PCM orgânicos não-parafínicos. No quadro 1 apresenta-se uma tabela com os valores do ponto de fusão e entalpia de fusão de alguns destes materiais e das parafinas. Pela análise da tabela verifica-se, facilmente, que tanto as parafinas como os ácidos gordos têm valores aceitáveis a nível de temperaturas de fusão e respetivas entalpias de fusão. No entanto, os ácidos gordos têm custos superiores aos das parafinas e não existem estudos muito aprofundados sobre a sua aplicação em construção.

Quadro 1 - Características térmicas de materiais orgânicos

Composto	Temperatura de fusão (°C)	Entalpia de fusão (KJ/Kg)
Estearato de butilo	19	140
Parafina C ₁₆ - C ₁₈	20-22	152
Parafina C ₁₃ - C ₂₄	22-24	189
1-Dodecanol	26	200
1-Tetradecanol	38	205
Parafina C ₁₈ (45~55%)	28	244

2.2.1.2. Inorgânicos

Estes materiais derivam-se em metais e sais hidratados. Tal como as parafinas, variados espécimes têm temperaturas de fusão entre os 20° e os 32° Celsius, além de terem uma elevada capacidade de armazenamento de calor, relativamente à sua massa e ao seu volume. Uma vantagem significativa no seu uso é o facto da condutibilidade térmica destas substâncias ser relativamente elevada, aproximadamente o dobro das parafinas. São materiais não inflamáveis, uma das desvantagens da parafina, como visto no ponto anterior. Ainda, em comparação aos PCM orgânicos, têm um baixo custo e relativa facilidade de aplicação. No entanto têm limitações na sua aplicação. A particularidade da possibilidade de sobrearrefecimento afeta a eficiência dos ciclos de armazenamento e a libertação de calor para o meio. Isto ocorre devido ao facto da substância, no processo de solidificação, ficar a uma temperatura inferior à de mudança de fase, sendo necessário calor extra para atingir a temperatura de fusão e posteriormente acumular ainda mais calor, para atingir o estado líquido. A par desta desvantagem, há que ter em consideração a decomposição da substância em elementos mais simples, alterando a estrutura do PCM. Além destas singularidades existe ainda o problema de serem materiais

corrosivos, o que obriga a cuidados na sua aplicação em estruturas metálicas. No quadro 2 demonstram-se as substâncias inorgânicas mais comuns, assim como os respetivos pontos de fusão e de entalpia de fusão. Como referido anteriormente, os valores das substâncias inorgânicas são relativamente aproximados das parafinas, o que os torna interessantes, sendo necessário, claro está, acautelar os inconvenientes referidos no parágrafo anterior.

Quadro 2 - Caraterísticas térmicas materiais inorgânicos

Composto	Temperatura de fusão (°C)	Entalpia de fusão (KJ/Kg)
Nitrato de manganésio hexahidratado	25,8	125,9
Nitrato de zinco hexahidratado	36,4	147
Cloreto de cálcio hexahidratado	29	190
Flureto de potássio tetrahidratado	18,5	231
Sulfato de sódio decahidratado	32	251
Nitrato de lítio trihidratado	30	296

2.2.1.3. Misturas

São substâncias compostas por dois ou mais materiais de natureza orgânica, inorgânica ou de ambos. As substâncias que compõem a mistura fundem-se e cristalizam congruentemente, isto é, sem se decomporem nos seus elementos. Estes materiais, geralmente, têm comportamento semelhante ao dos sais hidratados, discutidos no ponto anterior. Usualmente as substâncias, que compõem a mistura, têm pontos de fusão desfasados das temperaturas que se pretende manter num dado edifício, no entanto, na conjugação das substâncias, o resultado final, a mistura eutética, rege-se por temperaturas de fusão no espectro pretendido [15]. Têm um elevado calor latente, o que permite armazenamento considerável de calor. São também materiais quimicamente estáveis. Não apresentam problemas de toxicidade e corrosão o que lhe dá grande potencialidade de aplicação em obra [16]. O único constrangimento evidente das misturas é o custo associado, que pode ser de duas a três vezes superior às outras opções de PCM, inorgânicos incluídos, já, por si, de custos elevados. No quadro 3 apresentam-se exemplos misturas estudadas e as respetivas características térmicas. Porventura com maior variabilidade das temperaturas de fusão, já os valores de entalpia de fusão são semelhantes ao dos outros compostos apresentados.

Quadro 3 - Caraterísticas térmicas das misturas

Composto	Temperatura de fusão (°C)	Entalpia de fusão (KJ/Kg)
Cloreto de cálcio/Cloreto de magnésio	25	127
Nitrato de cálcio/Nitrato de magnésio	30	136
Cloreto de cálcio/brometo de cálcio	14	140
Ácido cáprico-láurico	21	143
Acetato de sódio/Ureia	30	200

2.2.1.4. Avaliação das características dos PCM

Sucintamente, neste subcapítulo apresentam-se as características chave dos diferentes tipos de PCM apresentados. Na tabela 1 apresenta-se uma lista com as principais vantagens e desvantagens dos materiais em questão. Todavia, as avaliações apresentadas não podem ser vistas como a revogação ou a aceitação da introdução de um dado PCM no mercado. De momento, com a noção das potencialidades e dos defeitos de uma dada espécie, pode-se trabalhar no sentido de melhorar os pontos menos positivos do material em questão. Através de técnicas de encapsulamento, ou impregnação do PCM noutro material, pode-se, por exemplo, contornar o problema da condutibilidade térmica entre outros.

Tabela 1 – Tabela de comparação das características principais dos PCM sólido-líquido

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
COMPOSTOS ORGÂNICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Vasta gama de temperaturas de fusão • Baixo ou nulo sobrearrefecimento • Estabilidade química • Não-corrosivos • Recicláveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa condutibilidade térmica • Variação de volume significativa na mudança de fase • Inflamabilidade
COMPOSTOS INORGÂNICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada entalpia de fusão • Condutibilidade térmica considerável • Não-inflamabilidade • Reduzida variação de volume na transição de fases • Custo reduzido 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrearrefecimento • Corrosão • Segregação nos processos de fusão e solidificação
MISTURAS EUTÉTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada entalpia de fusão • Temperaturas de fusão exatas • Estabilidade química • Não-corrosivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo elevado • Necessidade de mais informação comprovada cientificamente

Esta tabela síntese serve, apenas, o propósito de apresentar características que destacam os diferentes tipos de PCM. Denota-se, apenas, que não existe muita informação disponível e comprovada em relação às misturas eutéticas. Presume-se que devido ao facto de serem misturas entre dois ou mais tipos de PCM existentes, torna este grupo um tanto heterogéneo, o que acarreta dificuldades na procura de características transversais a todas os compostos eutéticos

2.2.2. PCM – MODOS DE INCORPORAÇÃO

Os materiais de mudança de forma podem ser utilizados de diferentes maneiras e como tal, têm efeitos diferentes no desempenho da sua função, de armazenamento de calor. Assim, estes podem ser adicionados a materiais tradicionalmente utilizados, como betão e cimento, através, ou do processo de impregnação ou de imersão, e ainda podem ser utilizados sob a forma de cápsulas, em que são adicionados como componentes de um dado edifício.

2.2.2.1. Impregnação

Adiciona-se o PCM, em solução aquosa (estado líquido) ou solução pulverizada (estado sólido), a uma dada mistura de gesso ou betão, por exemplo. No recurso a este método dispensa-se o uso de qualquer equipamento que não o normal na fabricação de betão ou outra mistura convencional. Realça-se a possibilidade de incompatibilidade com materiais de uso comum na construção, um claro entrave para ser viável como uma alternativa [17].

2.2.2.1. Imersão

Aplicado em materiais de construção porosos, como betão ou cerâmica. O PCM previamente derretido ou dissolvido, é absorvido pelo provete, por capilaridade, e seguidamente endurece no sistema de poros do mesmo. Como produto final obtém-se um provete de betão com as devidas características mecânicas, aliadas de maior capacidade de retenção de calor, providas pela solução de PCM adicionada. Este processo é consideravelmente moroso e durante a vida útil do material, ao qual se adicionou o PCM, poderá ocasionar-se situações de vazamento, durante os ciclos térmicos do material absorvido, o que altera a capacidade térmica do produto [18].

2.2.2.1. Encapsulamento

A aplicação deste método, como referido anteriormente, é o que encontra maior sucesso na sua aplicação a casos reais, com diversos empreendimentos que recorrem a PCM encapsulado, como se irá ver mais à frente. Através do encapsulamento, evita-se o contacto direto com os materiais de construção, o que potencialmente poderia apresentar problemas de incompatibilidade, problema este que pode ocorrer nos dois métodos anteriormente referenciados e que, como tal, exige precauções. A cápsula que reveste o PCM funciona como uma barreira que garante proteção e isolamento do material de mudança de fase. A necessidade de se recorrer a este processo decorre, no entanto, da necessidade de garantir que, na transição de fase sólida para líquida, não ocorra vazamento ou qualquer tipo de derrame, e deste modo, seja possível manter íntegras as propriedades do produto e o impedimento de movimentos em relação ao seu ponto de aplicação.

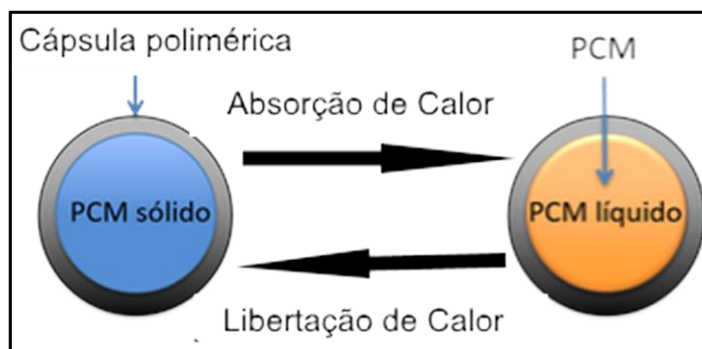


Figura 5 - Esquema representativo do comportamento térmico do PCM microencapsulado

Na figura 5 encontra-se representado, simplificada, uma cápsula de PCM. Facilmente percebe-se que a cápsula, geralmente à base de polímeros, serve de camada fronteira que impede que o conteúdo, PCM, na mudança de fase, de alguma forma, se evada. De nenhuma forma o revestimento pode ser um obstáculo às trocas de calor. Em particular, no caso do microencapsulamento, como se irá ver, até melhora o processo de transferência de energia, pois, aumenta a área de transferência de calor. Além deste parâmetro, outros devem ser respeitados, como a estabilidade estrutural e a facilidade de aplicação destes. Acrescenta-se também a necessidade de garantir a resistência mecânica adequada e a estabilidade química, em que se deve atentar principalmente à corrosão, e ainda a estabilidade térmica. O encapsulamento pode, portanto, ser de dois tipos: macroencapsulamento e microencapsulamento [19]. Descreve-se de seguida ambos os métodos e consequentemente apresentam-se os benefícios que estes processos acrescentam ao produto final, além dos já referidos.

- Macroencapsulamento

As macrocápsulas de PCM podem ter diversas formas: esféricas, cilíndricas, painéis entre outros. Na figura 6 apresentam-se exemplos dos variados formatos possíveis. A finalidade destes produtos pode ser desde a aplicação direta em materiais de construção, ou usados como componentes, em revestimento, por exemplo. Este processo acrescenta algumas valências ao PCM. Algumas já referidas tais como a retenção do material no estado líquido, impedido o derrame do mesmo. O facto de o PCM estar confinado pelo encapsulamento vai obstar alterações volumétricas significativas, o que previne diversos riscos, e assim garante a integridade do componente em que as cápsulas forem inseridas. A barreira polimérica (pode ser também de outros materiais, por exemplo, alumínio, como apresentado na figura 6) melhora a compatibilidade com outros materiais de construção, uma problemática já prevista. Este tipo de aplicação é de fácil manuseamento, uma clara vantagem deste processo em relação aos métodos de impregnação e imersão [15].



Figura 6 – Exemplos de PCM macroencapsulados [20], [21]

Apesar dos demais aspetos positivos desta técnica, os custos associados destas aplicações são consideravelmente elevados. Assim, serão requeridos diversos estudos que garantam, que a introdução

de macrocápsulas, será uma forma de se obter maior eficácia energética e que ocorra, realmente, uma poupança, a nível financeiro, de tal forma, que se sobreponha ao custo de investimento. Embora se tenha referido que, através deste processo, é possível contornar os problemas de incompatibilidade com os materiais de construção, este, é um ponto ainda em discussão, pois esta valência não garante, per se, a adequabilidade necessária ao seu uso em obra. O ponto de maior foco será, no entanto, a questão de haver uma elevada concentração de PCM na cápsula, que aliada à fraca condutibilidade térmica do material, tende a solidificar, mais corretamente, cristalizar, contiguamente à fronteira, o que dificulta as transferências de calor, acumulado, para o exterior [22].

- Microencapsulamento

Como facilmente é percebido, através do nome dos processos, o que diferencia os dois referidos, é o tamanho final das cápsulas. No método em análise as cápsulas têm diâmetros inferiores ao milímetro, frequentemente com valores a rondar entre a unidade e os sessenta micrómetros, milésima parte do milímetro. Como já avançado, esta será uma vantagem desta técnica, o processo de troca de calor é mais eficiente, pois, o PCM tem maior área de contacto, e, assim, é possível, em parte, solucionar a questão da condutibilidade térmica baixa. Existem diversos processos de obtenção de microcápsulas de PCM: químicos, físico-químicos e ainda mecânicos. Acrescenta-se que alguns destes processos podem ser reproduzidos *in situ*. Estas técnicas têm associados graus de complexidade e de eficácia diferentes. Assim, obtêm-se diferentes resultados no que se refere à cápsula em si e na forma como os PCM estão aglomerados no interior da mesma. Em relação às cápsulas refere-se apenas, que, tal como nas macrocápsulas, geralmente, são feitas à base de polímeros, podendo, no entanto, serem à base de compostos orgânicos ou inorgânicos. As microcápsulas podem ser: mononucleares, polinucleares e de matriz (esta última é uma solução de PCM em que se adicionaram polímeros). Na figura 7 apresenta-se uma simplificação dos diferentes tipos de microcápsulas.

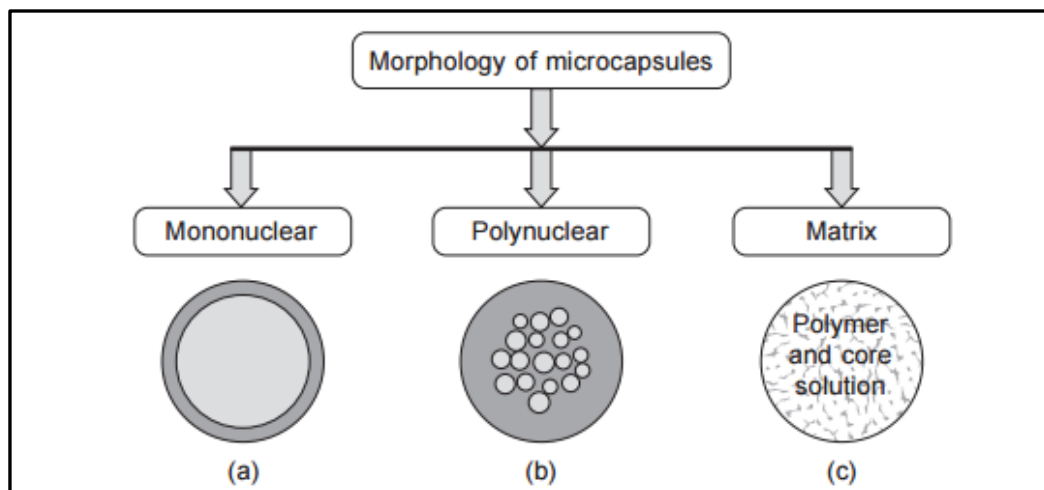


Figura 7 – Diferentes morfologias de cápsulas

Posteriormente, as cápsulas obtidas podem ser adicionadas diretamente aos materiais de construção ou podem ser conjugadas para obter outros tipos de componentes, por exemplo, placas de gesso cartonado embutido de PCM microencapsulado, um tipo de produto já comercializado e com aplicações concretas largamente reconhecidas. Tal como no caso das macrocápsulas, é necessário prever-se condicionamentos devido a possíveis inadequações com os materiais de construção aos quais são adicionados, pois podem afetar as respetivas propriedades e características. Refere-se o trabalho de Hunger et al [23] na inclusão de microcápsulas de PCM em betão auto-compactável, em que se comprovam as variações nas propriedades térmicas e mecânicas do betão. Por outro lado, Cabeza et al

[22] descreve a introdução de PCM através de microcápsulas como uma forma segura de aplicação do PCM em construção e como as funções das paredes de betão não sofrem, significativamente, a nível de resistência mecânica, com a inclusão do material de mudança de fase. O custo é também uma desvantagem, neste processo, sendo uma questão que é transversal a todos os processos referenciados. Destaca-se ainda que as microcápsulas têm vantagens consideráveis em relação às macrocápsulas [24].

2.3. PCM-APLICAÇÕES

2.3.1. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO

Antes de avançarmos para o estudo da incorporação dos PCM em obra, será interessante definir o papel a desempenhar por estes num dado edifício. Para o efeito de armazenamento energético em edifícios Zhu et al [25], no seu trabalho, avalia o desempenho energético da obra tendo em consideração as características dinâmicas dos PCM e configura 4 sistemas possíveis. Este trabalho incide, essencialmente em sistemas passivos, no entanto os outros sistemas são bastante usados tanto em Portugal como no resto do mundo, e assim, é importante fazer uma breve referência aos sistemas ativos, aos sistemas de refrigeração livre e de redução de picos de carga térmica. No armazenamento passivo, o PCM é crucial na regularização das temperaturas do ambiente interior. Desta forma, dispensam-se todos os sistemas mecânicos, de climatização. Claramente uma estratégia alternativa que pode dar grande contributo na resposta à crise energética e ambiental [26]. Acrescenta-se, no entanto, que será importante que os ciclos de mudança de fase coincidam com os ciclos horários dos utilizadores, dia-noite, para que o controlo ambiental seja suficientemente eficaz para evitar qualquer tipo de desconforto térmico. Este ponto será bastante discutido na avaliação do sucesso dos PCM e produtos derivados em construção. No sistema ativo teremos, portanto, sistemas de climatização, que de forma alguma, tiram a prepotência do efeito do PCM num dado ambiente, pois o papel deste sistema mecânico, será, geralmente, de coadjuvante. Deste modo, obtém-se uma maior eficácia no armazenamento e libertação de calor. O armazenamento ativo compreende tanto o uso de ar-condicionado e ventilação como por exemplo o uso de pavimento radiante. Realça-se novamente que o presente trabalho apenas se irão considerar casos de sistemas de armazenamento passivo. No que se refere à geografia portuguesa, subsiste um clima mediterrâneo, sem variações extremas de temperatura que justifiquem a necessidade de inclusão de sistemas de climatização que otimizem o processo de armazenamento de calor, por parte dos materiais de mudança de forma. O sistema de refrigeração livre, tradução literal de “free cooling system” é uma técnica definida como “aquela quantidade de resfriamento que pode ser obtida por um sistema, ou componentes de um sistema, existente, adicionado ou modificado, que durante condições ambientais baixas, descarrega a carga, parcial ou totalmente, num sistema de refrigeração mecânico” [27]. O PCM é geralmente colocado junto a sistemas de ventilação ou canalização para absorver mais facilmente calor, do ar ou da água. Para maior eficácia estes sistemas requerem que as temperaturas ambiente sejam tais que, durante o dia sejam superiores às de mudança de fase e de noite, sejam inferiores. Durante o dia existem momentos de maior calor em que ocorrem os denominados picos de calor. Estas cargas intensas exigem maiores esforços por parte dos sistemas AVAC o que leva a aumentos de consumo energético significativos. O sistema de transferência de picos de calor, tradução literal de “peak load shifting”, tem a função de diminuir estes picos deslocando-os no espectro temporal, para assim, exigir menos trabalho mecânico de refrigeração. Com este deslocamento de picos não só se suaviza a temperatura como ainda é possível obter-se poupanças energéticas devido a transferência do calor para horários de custos mais reduzidos de eletricidade [28].

2.3.2. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

2.3.2.1. Critérios gerais

Previamente, foram expostas as propriedades gerais dos diferentes tipos de PCM de interesse na construção de edifícios. Estas características não definem completamente o PCM nem, de forma alguma,

definem o uso que será dado ao mesmo. Assim, existe a necessidade de avaliar os materiais numa base em que seja possível identificar o tipo de material mais apropriado, para determinado fim. Os critérios, a apresentar, são considerados em diversos artigos e outros estudos, são quantificáveis e facilitam o processo de seleção. Apresentam-se, de seguida, os referidos critérios, através da tabela 2, e associa-se a estes o que poderá ser considerado um ponto favorável ou desfavorável. Embora bastante resumidos, estes critérios são facilmente compreendidos e devem ser tidos em conta na avaliação de determinado PCM, quer como matéria-prima, quer como produto ou componente de construção. A avaliação quantificada e criteriosa leva a uma diminuição dos riscos potenciais do uso destes materiais. Estes parâmetros devem ser considerados perante a função que se pretende, no caso deste estudo, as funções serão de absorção, armazenamento e emissão de calor. A possibilidade de um determinado PCM responder positivamente a todos os critérios é altamente improvável [29]. Além de que é, também, impossível hierarquizar estes pontos, visto que, podemos ter um material de baixo custo, com alta capacidade calorífica, mas, hipoteticamente, sendo tóxico, será prontamente descartado. Poder-se-ia considerar, por exemplo, a densidade como um critério complementar, e não essencial, mas existe uma relação com outros critérios como o custo ou a facilidade de aplicação. Assim, os critérios devem ser todos respeitados e considerados pois existe uma correlação entre os mesmos. Como referido, estes critérios servem tanto para avaliar o PCM em si como para avaliar produtos subsequentes deste material. Como de seguida se irá verificar, existem técnicas para contornar, e mesmo corrigir, certos comportamentos e outras particularidades destes. Desta forma, um dado material, que não responda positivamente aos pontos críticos apresentados, com recurso ao encapsulamento do mesmo, por exemplo, pode-se evitar o seu vazamento ou diminuir o tempo de transição de fases, se for caso disso.

Tabela 2 - Tabela de critérios de avaliação de PCM [29]

• Calor específico latente	Inversamente proporcional à quantidade de massa a usar, i. e., quanto mais elevado o valor do calor específico, menor quantidade de material será necessário
• Densidade do material	Para materiais mais densos correspondem menores volumes ocupados, para iguais respostas térmicas em relação a materiais menos densos
• Temperatura ou intervalo de temperaturas de mudança de fase	Os valores deste critério descartam ou aprovam o uso de certo material, pois, o conforto térmico deve ser garantido; para valores muito altos ou muito baixos este critério é preponderante na inviabilização do material
• Estabilidade química e térmica	O PCM deve manter a sua composição química inalterada para milhares de ciclos, e para um alargado intervalo de temperaturas
• Nível de toxicidade	De muito baixo valor, sendo valor nulo o mais apropriado; para casos de vazamento do material não pode ser um risco para a saúde nem para o ambiente
• Custo	Um ponto, que transversalmente, revoga o uso de variados PCM, devido, geralmente, a custos elevados; deve-se avaliar o custo relativamente ao benefício objetivado, e não ao seu valor absoluto (o que reprovava diversos PCM)

<ul style="list-style-type: none"> • Reciclabilidade 	No fim da vida útil do PCM, este, não pode acarretar impactos ambientais elevados; A possível reciclabilidade é real em muitos casos, principalmente para materiais de base orgânica
<ul style="list-style-type: none"> • Facilidade de aplicação 	O recurso a equipamentos específicos e complexos pode levar a que um dado PCM seja considerado não viável, apesar de respeitar os critérios previamente apresentados; o custo de instalação deve ser tido em conta neste critério

2.3.2.2. Conforto térmico

Previamente foi discutida a potencialidade deste material como sistema de armazenamento. No entanto, além de proporcionar a possibilidade de baixar os consumos energéticos é importante garantir um ambiente termicamente satisfatório. Por conseguinte é importante introduzir o conceito de conforto térmico, que não será mais que, um estado de espírito que traduz uma aceitação como agradável do ambiente térmico que nos rodeia [30]. Este conceito não é quantificável, ou, mais corretamente, não é possível aplicar uma fórmula matemática para obter um valor exato. Tal deve-se ao facto da sensação de mal-estar, ou bem-estar, depender da experiência vivenciada por cada pessoa, não sendo possível, então, obter qualquer valor específico, mas antes um certo intervalo que encerra em si as condições de conforto térmico. Como já discutido, é importante que o PCM tenha, portanto, uma temperatura, ou intervalo de temperaturas, de mudança de fase tais que garanta temperaturas consonantes com as exigidas. Assim, não só se impedem grandes flutuações de calor, de tal forma que se garantam condições de conforto, como também mitiga as temperaturas pico de calor. Acrescenta-se que a possível uniformização das temperaturas das superfícies e do ar reduz, ainda, as transferências de calor por radiação, que também proporcionam efeitos de desconforto [31].

2.3.2.3. Estabilidade e durabilidade

Anteriormente foram discutidos os problemas desta temática em relação aos materiais de mudança sólido-líquido, com especial foco no vazamento do material, aquando na fase líquida. Portanto, a estabilidade química do PCM influencia a durabilidade do material. Por exemplo efeitos de segregação na mudança de fase ou sobrearrefecimento têm direta influência na durabilidade. Outro fator, com significativo impacto na durabilidade, é a possibilidade de corrosão no contacto do PCM com o seu recipiente. Acrescenta-se que estes fatores não só influenciam a durabilidade do componente como também a própria capacidade de armazenamento e ainda as temperaturas de mudança de fase. Vários estudos têm debatido este tema destacando-se o trabalho de Hadjieva sobre a influência, ou melhor, a não influência dos ciclos térmicos nas propriedades das parafinas [32]. Nos estudos sobre a durabilidade destes materiais em obra aplicam-se métodos de envelhecimento para se obterem resultados correlacionáveis com a realidade [33]. O encapsulamento desenrola um papel importante na durabilidade e estabilidade. Como já visto o encapsulamento previne o vazamento do material e ao servir de proteção ao conteúdo PCM, impede o contacto direto com o componente de construção o que evita problemas de corrosão, entre outros. No entanto o material que compõem a cápsula e a própria geometria desta irá conferir diferentes propriedades ao PCM encapsulado [34]. A capacidade de aguentar milhares de ciclos térmicos, correspondente ao tempo de vida da obra, é essencial para garantir um bom funcionamento do sistema de armazenamento idealizado.

2.3.3. PCM – EXEMPLOS DE INTEGRAÇÃO EM SISTEMAS PASSIVOS

Embora estudos ainda decorram sobre a aplicação dos PCM em edifícios, existem já vários projetos que incluem produtos feitos a partir destes materiais. Tal permitiu que a pesquisa bibliográfica pudesse ser

conjugada com data recolhida de obras edificadas em que materiais de mudança de fase foram usados quer como constituinte de um dado elemento construtivo ou introduzido como componente. Pode-se deduzir do título deste subcapítulo que apenas se irão cobrir casos de sistemas passivos, âmbito onde se insere a tese corrente. Numa primeira parte apresentar-se-ão casos de inclusão de PCM, entre eles, betão e tijolos, e na parte seguinte proceder-se-á à referência da incorporação destes materiais em paredes, tetos falsos, envidraçados e sistemas de sombreamento.

2.3.3.1. Elementos de construção

- Betão

Este material é poroso e tem capacidade elevada de absorção, como tal a incorporação de PCM não apresenta problemas de agregação. Contudo, o material incorporado afeta a capacidade da resistência à compressão por parte do betão no primórdio da sua vida, e só é possível melhorar esta propriedade para idades mais avançadas[35]. Acrescenta-se, ainda, que a estabilidade a longo-termo é afetada assim como a resistência ao fogo [36]. Pode-se introduzir o material no betão através dos modos de incorporação de PCM referidos previamente: impregnação [37], imersão, macroencapsulamento [38] e microencapsulamento [39]. A inclusão do PCM em betão tem sido investigada na perspetiva do seu uso em edifícios com grande massa. Vários estudos referidos analisam a potencialidade de aliar a capacidade de armazenamento de calor latente do PCM à alta densidade do betão pesado, com o objetivo de gerar poupanças energéticas com o aquecimento e arrefecimento [40] [41] [42]. O primeiro estudo referido investiga o uso do PCM em pavimento de betão e compara com casos de pavimento de betão sem recurso ao material de mudança de fase. Ambos os casos, com PCM e o de referência, apresentam as mesmas características dimensionais e estão sob os mesmos parâmetros, em que a única fonte de calor é o irradiado através do envidraçado. A investigação conclui que a inclusão do PCM foi benéfica e que permite suavizar as flutuações de temperatura, todavia, há que atentar que casos reais de pavimento de betão sem nenhum tipo de revestimento são pouco usuais e por isso os resultados obtidos nesta experiência são bastante limitados. Os outros dois estudos referidos tentam quantificar o aumento de capacidade de armazenamento calorífico devido à inclusão de PCM, o primeiro com recurso a modelos numéricos e o outro como validação da correta aplicação dos modelos numéricos através de uma experiência de larga escala.

- Tijolos

Os estudos de incorporação de PCM em tijolo são escassos. Destaca-se apenas a experiência levada a cabo em Espanha, mais concretamente por Puigver de Leida, em que se introduziu PCM em tijolo, num caso aliado a um spray de poliuretano e noutro caso adicionado a tijolo alveolar. O produto usado é da empresa Rubitherm Technologies GmbH e tem a designação de CSM, uma macrocápsula. Acrescenta-se ainda que o conteúdo PCM é da linha RT, devidamente caracterizada no capítulo seguinte. Em relação às conclusões do estudo, os resultados obtidos foram no sentido inverso aos esperados, com os casos de referência a terem resultados mais favoráveis, principalmente no que se refere ao armazenamento energético esperado. Assumiu-se que o CSM teve problemas no processo de libertação de energia, mais concretamente na fase de solidificação, e, portanto, será necessário otimizar a estratégia, natural ou mecânica, de arrefecimento.

- Argamassas

Nas argamassas destaca-se o trabalho da Prof. Ana Vaz Sá sobre a comparação entre as características de uma argamassa de formulação L e outra de referência. O estudo conclui que ocorreram alterações na massa volúmica, não muito significativas, e na condutibilidade térmica, reduziu-se de um valor de 0.61 W/m.K para um valor de 0.30 W/m.K. As características mecânicas mantiveram-se e estimou-se uma

capacidade de armazenamento calorífico, da argamassa melhorada, em redor dos 25kJ/kg [43]. Outro estudo, através de simulações experimentais e numéricas corrobora os resultados do trabalho anteriormente referido para os valores das características estimados. Nesta investigação desenvolveram-se protótipos cúbicos, de dimensões 0.46 m³, com argamassa melhorada e, comparando com protótipos de referência, conclui-se que o PCM melhorou as condições térmicas interiores, atenuando as oscilações de temperatura mas este efeito benéfico só foi obtido para época de arrefecimento, para as condições de Inverno as melhorias térmicas não foram consideradas significativas [44].

2.3.3.2. Componentes de construção

- Paredes

A forma mais usual de implementação de PCM em edifícios é através de placas de gesso cartonado, com o material de estudo, pelo interior das paredes de um dado edifício. Especialmente para obras de baixa massa térmica as melhorias, do ponto de vista térmico, são muito significativas. Existem diversos trabalhos que investigam os efeitos que causam no ambiente interior e nos consumos energéticos. Numa experiência, realizada por Kuznik et al. comprovaram-se os efeitos benéficos do uso destas placas de gesso. Através de uma análise de comparação entre um quarto com placas de gesso sem PCM e outro com o dado material, demonstrou que o material de mudança de fase desempenhou com sucesso as suas funções: reduziu as flutuações das temperaturas do ar; diminui o efeito dos picos de calor; quando a temperatura baixava, o material solidificava corretamente e a temperatura era mantida a valores, promovendo o conforto térmico. No trabalho referenciado de Kuznik et al., podem-se verificar os benefícios do PCM para controlo das variações de temperatura [45]. No trabalho de Ascione et al. idealizou-se a reabilitação interior de um edifício, em que se colocaram placas de gesso com PCM e simularam-se os benefícios, a nível térmico, obtidos para diversas cidades de clima mediterrâneo. Os resultados diferem para cada cidade, como esperado, e por exemplo, a nível de poupança energética, Ancara teve resultados à volta dos 7.2% enquanto para quantidade de horas com temperaturas de conforto Nápoles e Marselha também se destacaram. Acrescenta-se, apenas, que o estudo realça que no Verão nas horas de baixas temperaturas, momento em qual o PCM solidifica e liberta calor, são reduzidas e decorre que o material não solidifica completamente. No Inverno verificou-se o mesmo caso mas para o fenómeno de fusão, em que o material não funde completamente o que prejudica o correto funcionamento deste material [46]. Destacam-se, ainda, os casos de paredes de trombe, pois são paredes de grande massa térmica com um envidraçado de envergadura considerável que permite a entrada de grandes quantidades de calor. Assim, a inclusão de PCM para armazenamento energético será bastante conveniente. No entanto, vários estudos apontam que a inclusão de PCM em paredes delgadas é mais benéfico, do ponto de vista térmico que paredes de trombe [47] [48].

- Tetos Falsos

A aplicação de tetos falsos à base de PCM é, geralmente, com o intuito de se gerar um efeito de resfriamento do interior, na estação de arrefecimento. O princípio de funcionamento requer que o teto falso esteja em contato com o exterior, através de condutas ou grelhas, para que, durante a noite, o PCM solidifique devido às temperaturas baixas. Na figura 8 apresenta-se uma representação esquemática do sistema em questão. De dia, fecha-se o contacto do teto com o exterior de modo que não ocorra entrada de calor e a circulação do ar interior fique restringido à secção acima do referido teto, onde os PCM se mantêm à temperatura desejada, a temperatura de fusão do material de mudança de fase [49]. Refere-se que, normalmente, as placas de gesso são colocadas no interior mas também existem estudos de aplicação das referidas placas pelo exterior, com resultados apreciáveis [50]. Destaca-se que o revestimento com recurso a placas de gesso cartonado com conteúdo PCM em tetos é, caso geral, semelhante à da sua aplicação em paredes.

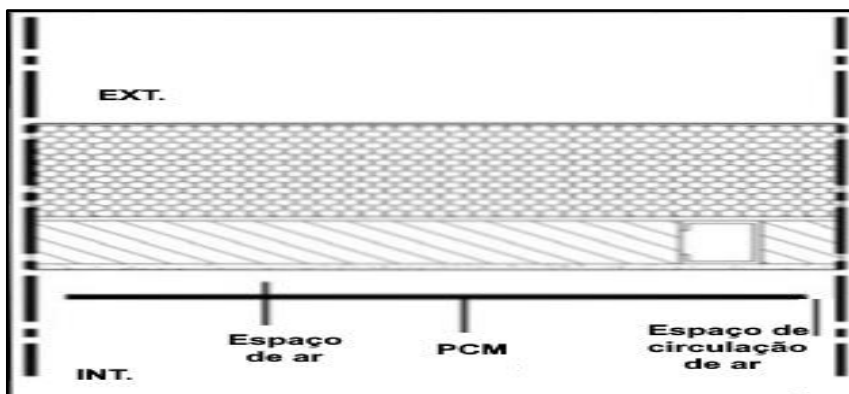


Figura 8 – Esquema de teto falso com placas de gesso com PCM

- Pavimentos

Na inclusão de PCM em pavimentos, na perspectiva de obtenção de resultados positivos, no que concerne a armazenamento de energia térmica, é preferível a sua inclusão em pavimentos em qual incida radiação solar direta e ocorra durante um longo período de tempo. Em relação ao declarado Athienitis e Chen [51] confirmaram num estudo experimental, com recurso a simulações numéricas, que as temperaturas superiores atingidas nas partes do pavimento infligidas pela radiação solar o PCM armazenava quantidades consideráveis de calor que reduziram em 30% as necessidades de aquecimento. Noutro trabalho concebeu-se um pavimento incorporado com PCM para atuar como um sistema passivo de climatização. O protótipo foi analisado e testado experimentalmente com resultados favoráveis em ambas as estações de aquecimento e arrefecimento [51]. Apesar de existirem alguns casos de estudo de pavimentos inseridos em sistemas passivos, existe um maior interesse na introdução de PCM em pavimentos radiantes. Principalmente na Coreia do Sul e Japão são comuns este tipo de pavimentos e vários estudos existem em redor deste tema. Referiram-se estes trabalhos, pois, embora fora do âmbito, pois são casos de sistemas ativos, o princípio de funcionamento é interessante e não deixa de enunciar e confirmar as benesses térmicas e energéticas conferidas pelos PCM aos componentes onde se integram.

- Envidraçados e Portadas

Os envidraçados são, em geral, um elo de ligação entre o exterior e o interior, do ponto de vista térmico e de consumo energético, que pode ser considerado frágil. Isto, pois, em climas de baixas temperaturas os envidraçados são responsáveis pela perda de quantidades enormes de calor para o exterior. Em sentido inverso, para climas quentes, estes componentes do edifício permitem a entrada de quantidades massivas de calor, o que obriga a forçar o resfriamento interior, aumentando os consumos energéticos. Com a introdução de PCM nos envidraçados, o material encontra-se exposto à radiação solar direta e através das respetivas mudanças de fase absorve parte do calor irradiado, diminuindo as quantidades de calor de entrada no local onde está aplicado o PCM. Neste sentido várias investigações têm sido levadas a cabo para comprovar os benefícios de envidraçados com PCM em relação a painéis de vidro sem o material. Um estudo, com recurso a modelos numéricos, avaliou vários modelos de painéis de vidro duplo com caixa de ar e com PCM, para diferentes espessuras dos materiais. Como resultado o PCM impede entradas massivas de calor, e assim, menor energia é transmitida. O envidraçado de referência tinha só espaço de ar entre os dois painéis de vidro. Neste estudo os resultados obtidos em relação à condutibilidade térmica foram superiores para o envidraçado com PCM, podendo-se inferir, então, que para casos de climas frios, as perdas de calor serão superiores, em comparação com os resultados obtidos para os painéis de referência. Este estudo ainda observou diferentes espécimes de PCM, com o intuito de avaliar a influência das cores destes e concluiu que PCM puros tinham maior transmitância e os de cor

azul e verde tinham menor transmitância em comprimento de onda [52]. Outro estudo, através de experiência e modelos computacionais, delineou as seguintes condições para um quarto: aquecimento uniforme de um quarto para o período diurno, e ainda com orientação dos envidraçados para Sul. Nestas condições compararam-se dois protótipos de envidraçado, com e sem PCM. Os resultados apontaram o PCM como responsável pela diminuição de entrada de calor, em 30%, e a redução dos ganhos térmicos, em 50%. Neste trabalho a condutibilidade térmica do envidraçado com PCM é inferior pois, e em relação ao estudo anterior substitui-se em alguns casos a caixa-de-ar entre vidros com PCM e nesta investigação o PCM era adicionado mantendo-se o espaço de ar. Acrescenta-se, apenas, que os PCM estudados foram da linha RT da Rubitherm Technologies GmbH, da linha S da Phase Change Materials Products Ltd. E ainda a linha L da PCM Energy P. Ltd. [53]. Mais à frente analisar-se-á os vidros incorporados de PCM que a empresa GlassX comercializa. O PCM introduzido é um sal hidratado encapsulado por policarbonato. Na mudança de fase o material de mudança de fase cristaliza e o envidraçado tende a ficar translúcida além do armazenamento de calor por parte do composto adicionado. De seguida apresenta-se um esquema representativo do funcionamento do produto disponibilizado por esta empresa [54].

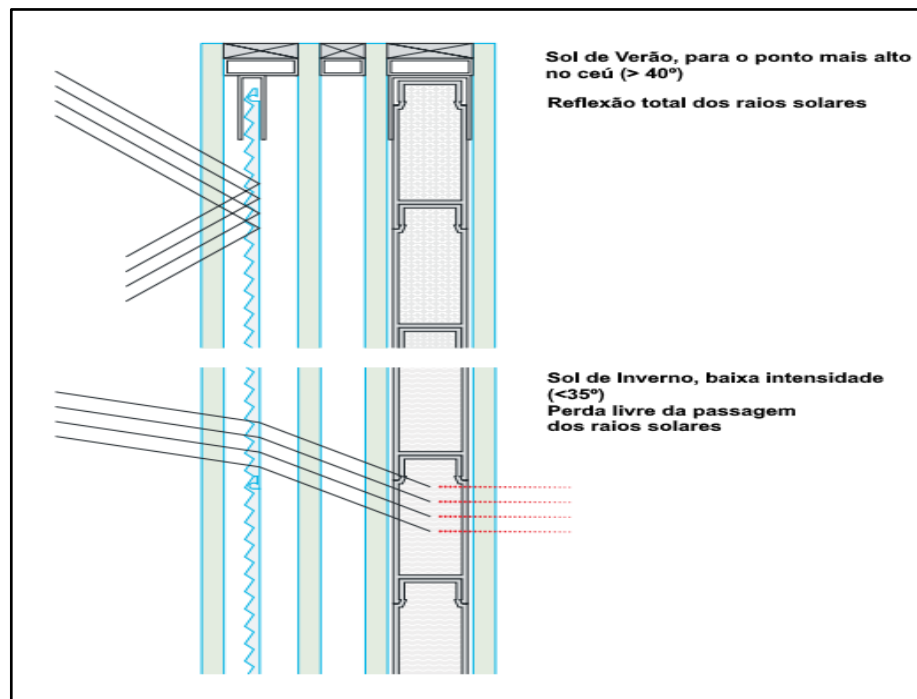


Figura 9 – Esquema representativo dos envidraçados da GlassX [54]

As portadas são outro componente de uma obra que por estarem expostos à radiação solar direto, tem potencial interesse a aplicação do PCM. O material será colocado pelo exterior da envolvente envidraçada e durante o dia as portadas deverão estar abertas para exposição solar. O PCM atingirá o ponto de fusão e armazenará o calor para de noite se fecharem as referidas portadas e, com as janelas abertas, a face interior da portada ficar em contato com o interior do edifício, libertando o calor acumulado durante o dia [55]. Em relação a sistemas de persianas e outros semelhantes, um estudo investigou a inclusão do PCM e os efeitos deste na quantidade de calor que entra no interior, em comparação a outros tipos de sistemas de oclusão sem PCM. Conclui-se que a incorporação do PCM reduziu em 23% o calor que atravessava os envidraçados [56].

- Outros

Recentemente têm surgido questões em relação à introdução de produtos PCM para aplicação no mobiliário de edifícios. Não existem muitos estudos sobre o tema, mas existem diversos trabalhos de investigação de aplicação de PCM em diversos materiais, em particular têxteis [57], que levantam a possibilidade da aplicação de PCM, sem ser a nível estrutural. No entanto, estudos são necessários para avaliar a real possibilidade de armazenarem quantidades significativas de calor de tal forma que sejam capazes de afetar as temperaturas interiores.

3

PCM NO MERCADO

3.1. ENQUADRAMENTO

O setor da construção em Portugal sofreu um grande revés a partir do ano de 2008 devido, claro está, aos efeitos da crise económica. Mas, mais recentemente, o setor tem sido impulsionado pelo Turismo e pela exigência crescente relativamente ao consumo energético. Como tal o PCM é discutido neste trabalho como um material que confere maior sustentabilidade energética aos edifícios. Assim, é necessário avaliar como os produtos para construção que contêm PCM estão disponíveis e avaliar, ainda, a sua facilidade de aplicação. O custo e a facilidade de aquisição destes produtos devem ser tidos em conta na possibilidade de se querer aplica-los numa dada obra. Isto, pois, a morosidade do processo de encomenda pode atrasar o projeto e o, hipotético, custo alto faz com que mesmo após anos de poupança energética, estes valores da poupança não sejam superiores aos valores do investimento. Portugal, no entanto, estando alocado no mercado europeu, o que é uma enorme vantagem para o país, no que se refere à aquisição de produtos emergentes. As empresas discutidas inserem-se na indústria química e apenas algumas se dedicam totalmente à comercialização de PCM. Os produtos referidos existem em diversas formas e algumas das marcas aproveitaram as propriedades destes materiais para ingressar noutros sectores da economia como o mercado tecnológico, por exemplo baterias de lítio de equipamentos eletrónicos, e até existem produtos de vestuário com materiais de mudança de fase.

3.2. REGULAMENTAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS PRODUTOS

Aborda-se, sucintamente, a legislação em vigor que aprova os produtos para serem comercializados e os regulamentos que a aplicação destes produtos em projetos. Apresentam-se ainda as normas que quer os produtos, quer as empresas produtoras, cumpram e outras certificações. A legislação portuguesa obedece à legislação da União Europeia e, portanto, no que se refere à regulamentação nacional considera-se congruente com a legislação europeia. Em relação à normalização destacar-se-ão as normas ISO, de certificação internacional, e as normas EN-europeias. Acrescenta-se que apenas se irão contextualizar legalmente os produtos selecionados pelo trabalho como mais reconhecidos pelo sector de construção, e as suas respetivas certificações. Em relação às empresas analisadas no decorrer deste capítulo, todas estão certificadas segundo a ISO 9001:2008 e adianta-se, também, que todas as empresas revistas cumprem a legislação, assim como os seus produtos estão certificados.

3.3. PCM – PRODUTO NO MERCADO

Os produtos de PCM a apresentar foram considerados os de maior visibilidade no mercado, no âmbito internacional, e que, porventura, serão os de mais fácil acesso na perspetiva nacional. Apresentar-se-ão primeiramente os produtos PCM puros e as corporações que os fabricam, com uma breve introdução

destas empresas. Adianta-se desde já que estes PCM puros comercializados, podem não ter as condições para serem empregues diretamente na obra e, por esta razão mesmo, posteriormente, apresentam-se produtos derivados, casos de macroencapsulamentos, painéis de gesso cartonado, entre outros. O foco essencial é a apresentação das características destes produtos, mecânicas e térmicas, principalmente e apresentar os níveis de desempenho estimados. No caso dos produtos derivados destacar-se-á, ainda, o modo de aplicação do material. Os pontos a discutir têm como título o nome da empresa, pois existem casos de empresas que produzem PCM de origens diferentes e assim torna-se mais simples o processo de identificação dos produtos. Toda a informação apresentada doravante advém de documentação registada e tornada acessível pelas empresas manufaturadoras e ou donas da marca registada, ou patente, do produto em causa.

3.3.1. PCM – SUBSTÂNCIA PURA

Os materiais de mudança de fase destacados, neste subcapítulo, podem vir a ser usados noutros componentes, ou até mesmo introduzidos diretamente em obra. Chama-se atenção, no entanto, que nem todos os produtos apresentados no decorrer desta secção podem ser utilizados diretamente em obra, por incompatibilidades ou outros defeitos que causem algum tipo de risco acumulado, e devido a tal, requer-se algum tipo de processamento, geralmente encapsulamento, para se poder empregar em obra o produto para, então, exercer a sua função mais proficuamente. Neste subcapítulo introduz-se a empresa produtora e de seguida o PCM que fabricam, expondo-se as propriedades do material, e outros detalhes de relevo. As empresas centram-se nos mercados europeus e dos Estados Unidos, pois embora existam diversas empresas de outros países, asiáticos principalmente, as discutidas serão as que têm maior relevância para a economia portuguesa.

3.3.1.1. BASF Chemical Company – Micronal® PCM

BASF, acrónimo para Badische Anilin & Soda Fabrik, é uma organização alemã histórica na indústria química, a sua fundação remonta a 1865 [58]. Destaca-se que esta empresa tem uma sucursal em Portugal o que facilita a aquisição a potenciais interessados neste produto. Acrescenta-se, por mera curiosidade, que a empresa MicroTek laboratories, inc. é, atualmente a detentora maioritária da marca registada Micronal, com a transação já anunciada pela BASF [59]. Este acordo permite à Microtek labs, inc. expandir o seu mercado, possibilitando uma maior visibilidade no continente europeu, o que, por sua vez, poderá trazer maior oferta, no que se refere a comercialização de materiais de mudança de fase. A solução apresentada por esta empresa é comercializada sob a forma de microcápsulas. As cápsulas são glóbulos de cera com diâmetros compreendidos entre os 2 e os 20 micrómetros, revestidos por uma camada de plástico endurecido e destaca-se o facto de ser livre de formaldeído, elemento altamente cancerígeno [60]. As cápsulas estão completamente seladas e estão aptas para serem submetidas a diversos processos tais como: trituração, perfuração, corte, etc. Este produto apresenta-se sob o nome comercial de Micronal® DS, acrescentado do número da série 5 000. O referido é comercializado, apenas, para três temperaturas de transição, de 21°C, 23°C e 26°C. O processo de manufatura resulta num produto em estado líquido, no qual as microcápsulas são dispersas na água. No entanto, este mesmo material também pode ser comercializado sob forma de pó, em que basicamente a desidratação é feita através de secagem por pulverização. Na figura 10 identificam-se as duas formas sob a qual existe.



Figura 100 – BASF Micronal® sob a forma de dispersão líquida e de pó [61]

Este produto tem a capacidade de manter as suas propriedades ao longo de 10 000 ciclos, o equivalente a 30 anos. Devido ao tratamento feito ao PCM e à respetiva camada protetora, este produto pode ser aplicado diretamente em diversos materiais como cimentos e madeiras, sem as preocupações de incompatibilidade, discutidas no capítulo 2 como um entrave ao uso dos PCM em obra. Assim, este composto pode ser usado diretamente em obra, e a razão para tal, deve-se ao facto do produto ser microencapsulado o que resguarda o material do exterior, como descrito no capítulo, no que concerne ao processo de microencapsulamento Acrescenta-se ainda que as cápsulas podem ser deformadas volumetricamente, isto é, na mudança de fase a cápsula pode ter um aumento de volume na ordem dos 10%. A estabilidade deste material deve-se ao seu conteúdo parafínico, mais concretamente cetano, que tem a seguinte fórmula química: $C_{16}H_{34}$. O cetano sendo um alcano puro concede certas valências ao produto Micronal® entre as quais [61]:

- A maior parte dos combustíveis são constituídos por alcanos e a mistura destes com o oxigénio liberta grandes quantidades de energia. Contudo, o hexadecano é composto por ligações covalentes simples entre os carbonos e, assim, não ocorrem ligações com o oxigénio;
- O cetano tem fusão congruente, isto é, quando transita de fase, as ligações a nível atómico da molécula não se quebram, o que previne que o conteúdo de PCM fique parte sólido, parte líquido que, por sua vez, provocaria fraca performance por parte do produto;
- É uma molécula hidrofóbica, o que se traduz em não ter a capacidade de absorção de água;
- A sua elevada pureza, por um lado, proporciona valores elevados de entalpia de fusão e, pela mesma razão, na mudança de estado não se formam produtos secundários, potencialmente prejudiciais;

Como se trata de uma microcápsula, o revestimento do PCM tem como função fulcral cingir o conteúdo a um certo volume, o que se traduz numa aliança de funções, a de fronteira com o exterior, e a de conceder proteção ao conteúdo. O Micronal® tem dimensões na ordem dos 2 a 20 μm , devido a este tamanho reduzido são mecanicamente indestrutíveis, o que previne vazamento do PCM, pelo menos por razões estritamente físicas. A cápsula deste produto é constituída por polímeros, tem resistência elevada, com a capacidade necessária para suportar as variações volumétricas na alternância de fase. Esta camada protetora tem polaridade ajustada, o que previne a exsudação da cera. De seguida apresenta-se no quadro 4 uma síntese das propriedades das microcápsulas disponíveis. Como referido, anteriormente, o produto existe para apenas três temperaturas de mudanças de estado. Os valores para a densidade do material

são pouco exatos, mas para os valores que apresentam não será problema quer a nível de volume ocupado quer de possível excesso de peso. As soluções em estado líquido têm metade da capacidade de armazenamento térmica do produto pulverizado. Acrescenta-se, ainda, que as soluções líquidas contêm, aproximadamente, 42% de material sólido em suspensão.

Quadro 4 - Tabela dos diferentes tipos de Microcápsulas comercializados pela BASF [61]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Densidade (Kg/m³)	Calor Latente (kJ/kg)	Forma ou fase do material
DS 5000	26	250~350	45	Solução líquida
DS 5007	23	250~350	41	Solução líquida
DS 5030	21	250~350	37	Solução líquida
DS 5001	26	250~350	110	Solução em pó
DS 5008	23	250~350	100	Solução em pó
DS 5029	21	250~350	90	Solução em pó

3.3.1.2. Entropy Solutions LLC -PureTemp

Entropy Solutions é uma empresa com sede nos Estados Unidos da América e sem representação em Portugal, o que acrescenta dificuldades na eventualidade de se querer adquirir o produto, sendo, portanto, a Internet e a via telefónica a única possibilidade de contacto com a referida organização empresarial. O seu produto apresenta-se em diferentes formas, e por isso diversificou o seu produto para diferentes fins, desde vestuário a transporte de consumíveis. O PCM desenvolvido em questão, de nome comercial, PureTemp, é o produto de referência desta empresa com um certificado aprovado por parte do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos que distingue este PCM como baseado integralmente em compostos biológicos [62]. Como referido a empresa apresenta outros produtos, estes de alguma forma incorporam PCM e tiram proveito das suas capacidades de armazenamento de calor. O PCM que constitui estes produtos é Puretemp, e estes apresentam-se em vários formatos, como se apresentará no próximo subcapítulo. No que toca à substância pura de Puretemp esta é disponibilizada sob solução líquida ou pulverizada. Na figura 11 pode-se observar a forma comercial do Puretemp na imagem da esquerda, enquanto na direita temos as imagens que distinguem visualmente a solução líquida da pulverizada.



Figura 11 – À esquerda temos o produto como é comercializado, a figura da direita mostra o produto em estado líquido, à esquerda e pulverizado à direita

Depois, existem diversos tipos deste material, para mais de vinte temperaturas de fusão diferentes. Apenas se destacarão os PCM com temperaturas de fusão compreendidas entre os 15°C e os 29°C, detalhes sobre os diferentes produtos Puretemp apresentam-se no quadro 5. Este material foi testado para milhares de ciclos de fusão/solidificação, no entanto, o tempo de vida estimado não é uma informação fornecida. É um material 100% biodegradável, como mencionado, e não apresenta problemas de toxicidade [63].

Quadro 5 - Tabela dos diferentes tipos de PureTemp [63]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Densidade (Kg/m³)	Calor Latente (kJ/kg)	Estado físico para T=25°C
PureTemp 15	15	860	182	Líquido
PureTemp 18	18	860	192	Líquido
PureTemp 20	20	860	171	Líquido
PureTemp 23	23	860	227	Líquido
PureTemp 25	25	860	187	Sólido
PureTemp 27	27	860	202	Sólido
PureTemp 28	28	860	190	Sólido
PureTemp 29	29	860	202	Sólido

3.3.1.3. PCM Products Ltd

Empresa com sede no Reino Unido e como tal com presença no mercado europeu, mas não em Portugal. Esta companhia tem materiais de mudança de fase de origem orgânica, inorgânica e misturas eutéticas. Contudo, só os PCM orgânicos e inorgânicos têm exemplares com potencialidade para inclusão em edifícios residências, de serviço ou comércio. Anteriormente, foram referidos os tipos de PCM consoante a sua mudança de fase, em que se fez uma referência, breve, aos materiais de mudança de fase sólido-sólido. A PCM Products, Ltd disponibiliza produtos deste tipo, e embora se tenha descartado o seu estudo previamente, achou-se por bem incluir estes materiais e uma síntese do seu funcionamento, pois, futuramente, podem ter uma maior representação no segmento do mercado de PCM. Na figura 12 podem-se observar os diferentes produtos disponibilizados por esta empresa e as diferentes formas em que se apresentam.



Figura 12 - Diferentes formas dos produtos disponibilizados pela PCM Products Ltd [64]

- Sais Hidratados

Como discutido no capítulo 2, os sais hidratados são materiais inorgânicos. A sua génese advém da mistura de determinados sais com água, em que, basicamente, estes sais formam cadeias complexas, por cristalização, no contacto com a água. Na fusão deste material, a água da cristalização é libertada e o sal dissolve-se na água absorvendo grandes quantidades de calor. Os produtos apresentados diversificam-se consoante a sua temperatura de fusão/solidificação. Estas diferenças nas temperaturas de alternância de estado são alcançadas com o uso de diferentes sais hidratados, e, ainda, variando as suas concentrações na água. Os sais disponibilizados têm diferentes comportamentos, consoante são sais puros ou misturas. Assim, obtêm-se materiais de fusão congruente, semicongruente e incongruente. Os primeiros podem ser aplicados diretamente em obra ou em componentes de construção, pois, encontram-se no seu estado puro. Os materiais de fusão semicongruente ou incongruente devem ser aditivados, para se garantir correto desempenho da sua função. A introdução dos aditivos, tem como objetivo principal garantir que o sal não se decomponha noutros elementos, prejudiciais. Estes materiais podem ser incluídos diretamente em obra ou usados através de encapsulamento, tendo em conta os detalhes que se referiram previamente. As soluções encapsuladas serão apresentadas no final deste subcapítulo, entretanto, apresentam-se, no quadro 6 os valores das propriedades principais este material.

Quadro 6 - Sais hidratados comercializados [64]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Densidade (Kg/m³)	Calor Latente (kJ/kg)²	Condutividade térmica (W/m.K)
S15	15	1510	160	0,430
S17	17	1525	160	0,430
S19	19	1520	160	0,430
S21	21	1530	170	0,540
S23	23	1530	175	0,540
S25	25	1530	180	0,540
S27	27	1530	183	0,540
S30	30	1304	190	0,480
S32	32	1460	200	0,510
S34	34	2100	115	0,520

- Orgânicos

Os PCM orgânicos disponibilizados têm valores substanciais de retenção de calor e temperaturas de mudança de fase bastante precisos e ainda custos relativamente baixos. Não são considerados perigosos nem tóxicos ou inflamáveis. Ao contrário dos sais hidratados, em que é necessário atentar à possível incompatibilidade do PCM com os materiais em contacto, as substâncias orgânicas usadas não apresentam qualquer efeito consequência negativa no contato com a generalidade dos materiais de construção. Assim estas substâncias podem ser introduzidas através de espessamento, tradução literal do conceito “thickening”, por adsorção em pó ou por encapsulamento, o processo mais reconhecido. O quadro 7 inclui as características principais dos diversos materiais orgânicos disponíveis, em que a letra A, primeiro carácter na designação comercial, é a inicial de alifático, nome para as cadeias complexas que formam estes PCM.

Quadro 7 - Compostos orgânicos comercializados [64]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Densidade (Kg/m³)	Calor Latente (kJ/kg)²	Condutividade térmica (W/m.K)
A15	15	790	130	0,180
A16	16	760	213	0,180
A17	17	785	150	0,180
A22	22	820	216	0,180
A22H	22	785	145	0,180
A23	23	785	145	0,180
A24	24	790	145	0,180
A25	25	810	226	0,180
A25H	25	785	150	0,180
A26	26	790	150	0,210
A28	28	789	155	0,210
A29	29	810	226	0,180
A32	32	845	130	0,210
A36	36	790	217	0,180

- Materiais de mudança de fase sólido-sólido

Estes materiais de mudança de fase têm suscitado bastante interesse a nível académico. Como referido anteriormente o facto destes materiais não existirem em estado líquido, para as temperaturas de interesse, evita diversos problemas como por exemplo vazamento. O facto de não sofrer sobrearrefecimento, evita-se a nucleação. É o produto mais recente da PCM Products, Ltd. Na mudança de estado, que ocorre para uma temperatura exata, a sua estrutura cristalizada altera-se para outra configuração e em que o armazenamento de calor têm valores aproximados dos PCM sólido-líquido mais eficientes. Acrescenta-se só, que embora este produto esteja disponível no mercado atualmente, investigações por parte da empresa ainda decorrem para desenvolvimento do material. Só existem dois espécimes para inclusão em construção, no quadro 8 observam-se as suas principais características.

Quadro 8 - PCM sólido-sólido comercializados [64] [65]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Densidade (Kg/m³)	Calor Latente (kJ/kg)²	Condutividade térmica (W/m.K)
X25	25	1055	110	0,360
X30	30	1050	105	0,360

3.3.1.4. Rubitherm Technologies GmbH

Rubitherm é uma empresa alemã, com sede em Berlim, que se foca, apenas e só, na comercialização de materiais de mudança de fase. Como tal diversificou os produtos que comercializa, contem um catálogo bastante extenso, e assim expandiu-se para variados mercados, como vestuário e até saúde. O sector da construção é uma das principais áreas de aposta e como tal existem diversos produtos PCM para aplicação em construção. Comercializam o produto como substância pura ou com o PCM microencapsulado ou em macrocápsulas. Como a PCM Products Ltd também apresenta materiais de mudança de fase sólido-sólido, além de sólido-líquido.

- PCM SP-Line

É a linha de PCM mais requerida, por parte de empresas de construção. É um produto que se considera ter transições de fase estáveis. Como já visto para a generalidade dos sais hidratados, tem uma alta capacidade calorífica. No que refere à necessidade de nucleação, é aconselhada, embora o sobrearrefecimento seja muito limitado. Tem reduzida inflamação e não produz fumos tóxicos. Chama-se a atenção para o facto de ser um material corrosivo, por isso exige cuidados quando em contato ou proximidade com metais. De seguida, na figura 13, demonstra-se o aspeto do PCM em questão.



Figura 13 – Exemplo do PCM da linha SP [66]

São produtos obtidos por mistura de sais hidratados e alguns aditivos logo, tem origem inorgânica. Tem temperatura de fusão desfasada da temperatura de solidificação, i.e., a temperatura quando o material transita de sólido para líquido é diferente da temperatura no processo inverso, com desfasamento calculado, para valores aproximados, de 1K. Nos estudos de envelhecimento deste composto foi garantido o seu funcionamento para, pelo menos, 10 000 ciclos. Este produto é comercializado sob a sua forma pura, embora a empresa refira que o seu uso em macrocápsulas é vantajoso para a performance do PCM. O quadro 9 enuncia as principais propriedades desta linha de PCM.

Quadro 9 - PCM do tipo SP para diferentes temperaturas de fusão [66]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Calor Latente (kJ/kg)	Condutividade térmica (W/m.K)
SP 21 E	21 - 23	170	0,6
SP 24 E	24 - 25	180	0,6
SP 25 E2	24 - 26	180	0,6
SP 26 E	25 - 27	180	0,6
SP 29 Eu	29 - 31	200	0,6
SP 31	31 - 33	210	-

- PCM RT-Line

É uma linha muito utilizada pelo sector de transporte de mercadorias devido à capacidade de armazenar calor mesmo para volumes muito limitados e para diferenças de temperatura mínimas. Por estas mesmas razões o produto tem também aplicação na construção. Como a linha SP, este PCM também é consideravelmente estável na transição de fases. Acrescenta-se ainda que tem uma vida útil consideravelmente grande, logo bastante durável. Apresenta-se sob diversas formas, blocos sólidos, forma pulverizada, granulado, que se podem observar na figura 14.



Figura 14 - Exemplos do PCM da linha RT [67]

Material de base orgânica de grande capacidade de armazenamento calorífico devido ao seu alto estado de pureza, que, também, garante fusão congruente do PCM. São quimicamente inertes, isto é não reage com a generalidade das moléculas. Estes materiais têm diversos formatos, pois existem para muitas temperaturas de alternância de fase, e podem ser adquiridas em estado líquido, blocos sólidos, material granulado ou em forma de flocos. Existem como substâncias puras e são conteúdo para os produtos macroencapsulados desta mesma empresa. Esta linha de PCM é a única disponibilizada para posterior processo de microencapsulamento. O quadro 10 mostra as características dos PCM desta linha com aptidão para serem introduzidos em edifícios correntes.

Quadro 10 - PCM do tipo RT para diferentes temperaturas de fusão [67]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Calor Latente (kJ/kg)	Condutividade térmica (W/m.K)
RT 15	15	155	0,2
RT 18 HC	18	260	0,2
RT 21	21	155	0,2
RT 21 HC	21	190	0,2
RT 22 HC	22	190	0,2
RT 24	24	160	0,2
RT 25	25	170	0,2
RT 25 HC	25	230	0,2
RT 26	26	180	0,2
RT 28 HC	28	250	0,2
RT 31	31	165	0,2

- PCM PX Bound

Este PCM desenvolvido pela RubiTherm é um PCM de fase sólido-sólido, ou seja, não apresenta estado líquido, o que traz as vantagens e conveniências discutidas nos capítulos anteriores. Apresenta-se sob forma pulverizada em que contém o PCM e pó de sílica hidrofílica. Este último componente tem propósito estrutural e é devido ao seu efeito que na mudança de fase mantém-se o estado sólido, na forma macroscópica. É um produto muito semelhante aos produtos microencapsulados que a RubiTherm comercializa, com alguns pequenos detalhes que as distinguem. A mistura PX, de cor branca, é composta por 60% de material orgânico da linha RT, fabricada por esta corporação. Destaca-se que existem semelhanças entre a linha PX e os microencapsulados que esta empresa dispõe, a cor branca e as dimensões reduzidas, em redor dos 200µm. No entanto, a empresa realça que as microcápsulas exercem funções, que a linha PX não é capaz de reproduzir, realça-se, ainda, que a capacidade calorífica destes materiais é consideravelmente inferior ao das linhas de PCM já referidas. De seguida apresenta-se na figura 15 ilustram-se as semelhanças visuais com o PCM da linha RT, descrita no ponto anterior.



Figura 15 – Exemplo de PCM da linha PX [68]

Tem capacidade calorífica relativamente baixa quando comparada com as linhas disponibilizadas pela empresa alemã. É considerada quimicamente inerte e sofre reduzida variação volumétrica na mudança de fase. Não sofre nucleação pois não padece do efeito de sobrearrefecimento. Apresenta-se no quadro 11 as características mais significativas dos dois espécimes considerados.

Quadro 11 - PCM do tipo PX para diferentes temperaturas de fusão [68]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Calor Latente (kJ/kg)	Condutividade térmica (W/m.K)
PX 15	15	85	0,2
PX 25	25	95	0,1

3.3.1.5. Dupont - Energain®

Dupont é uma empresa secular na área da ciência e engenharia, sediada em Wilmington, Delaware, Estados Unidos da América. Atua em diversos sectores do mercado e como tal comercializa diversos produtos e serviços em várias áreas da economia. Em relação à Construção comercializa vários produtos, entre os quais, isolantes térmicos, componentes de design, entre outros. No que se refere a materiais de mudança de fase, o seu produto principal é o Energain. Existem já diversos projetos que utilizam este produto como componente para controlo térmico. Acrescenta-se, por mera curiosidade, que recentemente a Dupont aplicou esta tecnologia em baterias de lítio o que suscitou o interesse do sector

de Tecnologia e Informação, consequentemente várias empresas deste sector, como a Solvay [69], adquiriram estes produtos. Este PCM é um composto de cera parafínica e um dado polímero. No entanto, este produto só se encontra disponível em painéis de alumínio, em que o PCM se encontra entre duas placas de alumínio que, por sua vez, tem as suas bordas seladas com fita adesiva de alumínio. Depreende-se, portanto, que não é possível o uso do PCM por introdução direta ou, sequer, noutro formato. O produto em questão tem temperaturas de fusão e solidificação, respetivamente, nos 22°C e 18°C. O quadro 12 detalha as características principais do produto.

Quadro 12 – Características principais do Energain [70]

Designação Comercial	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Densidade (Kg/m³)	Calor Latente (kJ/kg)	Estado físico para T=25°C
Energain	22	810	649	Líquido

3.3.1.6. Mci Technologies – Inertek

A Mci Technologies é uma empresa que pertence ao grupo Winco Technologies, com sede em Saint-Brieuc. Especializada na produção de PCM, comercializa essencialmente o Inertek, produto desenvolvido pela empresa, para as variadas indústrias. Este produto é de origem vegetal e é microencapsulado, sendo disponibilizado sob forma de pasta ou forma pulverizada. Apresenta-se na figura 16 o PCM microencapsulado a nível microscópico. Este PCM embora possa ser utilizado diretamente em obra, sofre, geralmente, processamento posterior, principalmente pela empresa detentora Winco Technologies para desenvolver outros produtos, como se irá ver mais à frente.

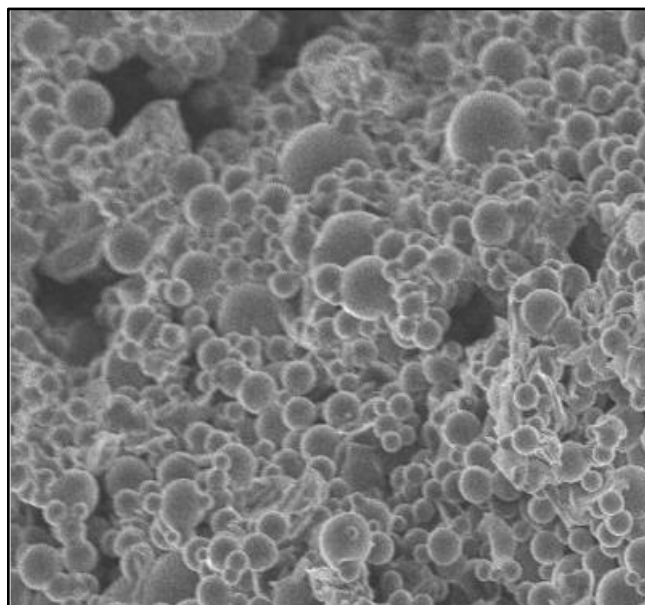


Figura 16 – Aproximação na ordem das 1000x das microcápsulas que compõem o Inertek [71]

As microcápsulas apresentadas têm tamanhos que variam entre os 5 e os 25 micrómetros, apresenta-se a seguir a tabela de características deste material um gráfico da granulometria do Inertek. A microcápsula é fabricada através do processo de polimerização in situ, em que basicamente a uma emulsão de óleo em água adicionam-se polímeros. Com uma variação do PH, devido à introdução do polímero,

começam-se a formas as cápsulas poliméricas, que revestem a substância PCM. O produto em questão tem mudanças internas de fase estáveis para uma longa vida útil, estes produtos seguiram dois protocolos de envelhecimento: aceleração do envelhecimento por calorímetro; envelhecimento dos produtos finalizados numa câmara térmica. Apresenta-se de seguida o quadro 13 que contém as propriedades dos PCM comercializados, que apresentam intervalos de temperatura consonantes com as temperaturas pretendidas para uso em obra. Ainda se apresenta na figura 17 a granulometria deste produto PCM.

Quadro 13 - Características principais da gama Inertek [71]

Designação Comercial	Forma	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Calor Latente (kJ/kg)
Inertek 18	Líquida	18	200
	Pulverizada	-	180
Inertek 21	Líquida	20-22	125
	Pulverizada	-	-
Inertek 23	Líquida	23-27	180
	Pulverizada	23-27	160
Inertek 26	Líquida	26-28	200
	Pulverizada	26-28	175
Inertek 32	Líquida	32	200
	Pulverizada	-	180

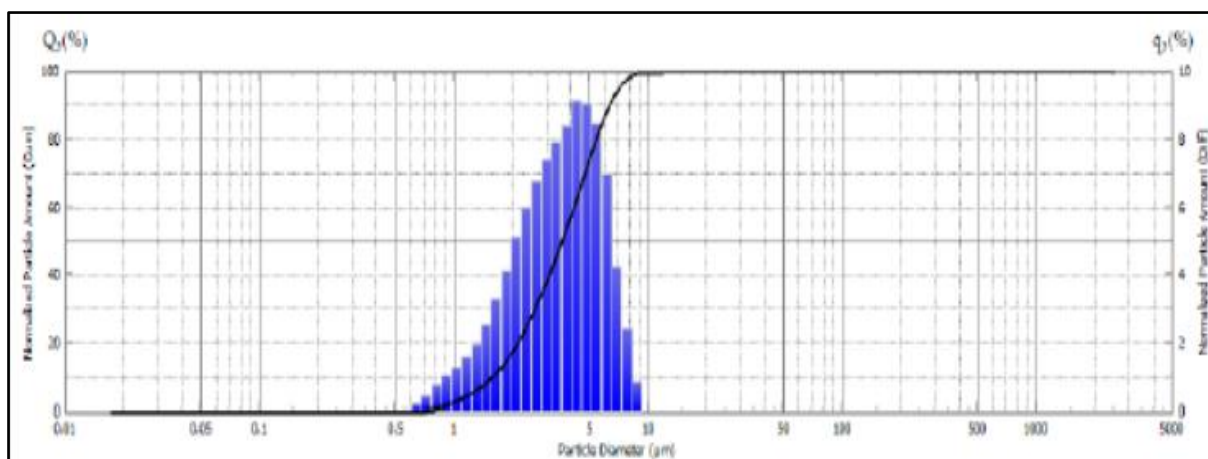


Figura 17 – Granulometria das microcápsulas Inertek [71]

3.3.2. PCM – PRODUTOS DECORRENTES PARA APLICAÇÃO EM OBRA

Neste ponto apresentam-se produtos comercializados que, de alguma forma, integram PCM na sua constituição. Geralmente as empresas que produzem PCM na forma pura também comercializam outros produtos derivados desse mesmo material. Mas, existem outras que comercializam produtos derivados e não a substância de PCM, e que adquirem o conteúdo PCM a empresas produtoras. As soluções mais são as microcápsulas, a forma mais empregue em construção ou as macrocápsulas. No entanto, e como

se verá neste capítulo, outros componentes foram desenvolvidos para uma maior fácil aplicabilidade do produto, como por exemplo painéis de gesso cartonado e envidraçados.

3.3.2.1. Entropy Solutions

Empresa já referida no subcapítulo anterior e que produz o PCM PureTemp que comercializa, também, na sua forma mais pura. Mas, como indicado, este material é também disponibilizado sob outras formas: macrocápsulas e microcápsulas. O encapsulamento do material é feito pela Vesl LLC, uma empresa com 18 anos de experiência na área de encapsulamento e confinamento de materiais de mudança de fase. No que se refere a macroencapsulamento, existem 4 diferentes modelos: BlockVesl, MacroVesl, TubeVesl, MatVesl. Já, em relação aos produtos microencapsulados eles existem sob a forma pulverizada, “cake” e “slurry”. Em relação a estas duas últimas formas a diferença entre elas é a quantidade de água presente no PCM. Estes produtos podem ser encomendados diretamente do site e os preços dos produtos são fornecidos pelo site da Puretemp.

- **Macrocápsulas**

A Entropy Solutions apresenta várias formas macroencapsuladas para comercialização. Na figura 18, do lado esquerdo, temos o BlockVesl, que é, essencialmente, um bloco com dimensões: 330x255x39 [mm], com uma área de 3 277cm². Contém aproximadamente 908ml de PCM no seu interior e está disponível para temperaturas de transição de fase entre os -15°C e os 29°C. Na mesma figura do lado direito observa-se o MacroVesl, que é uma cápsula esférica de origem plástica com alta capacidade térmica. O seu design tem como intuito conferir ao produto uma elevada eficácia nas transferências térmicas, ao ponto de garantir celeridade nos processos de armazenamento e libertação de energia mesmo para diferenciais de temperatura baixos. Tem um diâmetro de 305mm e devido ao referido design, com várias reentrâncias, tem uma área superficial aproximada de 24 677 cm². Contém um volume total de PCM a rondar os 7177 ml e existe para temperaturas de mudança de estado dos 4°C até aos 29°C. Estes dois formatos são os de maior interesse para inclusão em obra, no entanto, a investigação sobre macrocápsulas em sistemas são escassos, restringindo a matéria de estudo aos documentos disponibilizados pela Entropy Solutions. As duas últimas formas de macrocápsulas disponíveis, TubeVesl e MatVesl, não se enquadram com o mote deste trabalho. Tal, deve-se ao facto destes produtos terem funções diferentes dos anteriores, BlockVesl e MacroVesl que essencialmente tinham função de armazenamento térmico. O TubeVesl é proposto para ser usado como componente de tubagem, com capacidade de suportar elevadas temperaturas e o MatVesl tem por objetivo integrar um sistema de proteção térmico, em que seja necessário garantir estanquidade. Na figura 19 encontram-se representados os produtos macroencapsulados em questão.



Figura 18 - Produtos macroencapsulados disponibilizados pela Puretemp [72]



Figura 19 – Produtos macroencapsulados disponibilizados pela Puretemp [72]

- Microcápsulas

Em relação ao PCM sob forma de microcápsulas a Entropy Solutions, como previamente referido, proporciona três diferentes soluções: forma pulverizada, basicamente a forma livre de água; sob a forma de “cake”, bolo na tradução literal, que será mais uma pasta constituída por 30% de água e os restantes 70 % de PCM; e, ainda, na forma de “slurry”, numa tradução estrita seria pasta, composto por 60% de água e 40% de PCM. A cápsula é polímera e garante a proteção do conteúdo, assim como previne o vazamento do material por variações volumétricas na mudança de fase. Há que referir que estes produtos microencapsulados são comercializados através da Encapsys ou a Microtek Laboratories, pois são estas empresas que desempenham os processos de revestimento do Pcm PureTemp. Acrescenta-se apenas que a forma das soluções referidas é semelhante a outras já demonstradas como o MicronalPCM.

Refere-se ainda o produto Microvesl da Puretemp. O mesmo é referido como produto microencapsulado, com um diâmetro de 18.5 mm. Ora no capítulo anterior convencionou-se o milímetro como a medida que separava o microencapsulamento do macroencapsulamento, além de que os produtos microencapsulados já apresentados têm diâmetros na ordem das dezenas de micrómetros, substancialmente inferiores ao deste produto. Apesar de tal é um produto com finalidades práticas em obra com capacidade de armazenamento de calor que depende da gama do PCM Puretemp encapsulado. É capaz de conter 2.9 ml de PCM, tem uma área superficial de 10.75 cm² e através dos dados providenciados pela empresa estima-se uma densidade deste produto em volta dos 900kg/m³. Na figura 20 identificam-se estas denominadas microcápsulas, da Puretemp.



Figura 20 – Microvesl a solução microencapsulada da PureTemp [72]

3.3.2.2. Winco Technologies

Referiu-se, previamente, a empresa Mci Technologies que pertence ao grupo da Winco. Também foi mencionado que a empresa detentora recorria ao PCM desenvolvido pela sua sucursal para desenvolver outros produtos, em que se destacam o Enerciel e o Thermo confort, ambas são pastas de gesso com propriedades térmicas conferidas pelo PCM Inertek. Apresentam-se de seguida os produtos referidos.

- Enerciel

Pasta de gesso formulada pela Winco Technologies e que tem presente na sua constituição Inertek. Não apresenta problemas de compatibilidade, pode-se aplicar com qualquer suporte. Tem uma capacidade calorífica em volta dos 60 kJ/kg e uma condutibilidade térmica baixa, em cerca de 0.16 W/m.K. Esta pasta só é comercializada para a temperatura de mudança de fase de 23° C. É ainda considerada de baixa inflamabilidade. Pode-se utilizar este produto para interior ou exterior, devido a ausência de problemas de incompatibilidade. É um produto à prova de água e depois de aplicado evita condensações pois permite passagem de vapor de água através deste. O princípio de aplicação é semelhante ao da argamassa Thermo confort apresentada no próximo ponto. Na figura 21 mostra-se como o produto é comercializado.



Figura 21 – Forma de comercialização do produto Enerciel [73]

- Thermo Confort

A Winco Technologies desenvolveu outra pasta de gesso de cor branca, de nome comercial THERMO CONFORT, que contém o PCM referido, previamente. A pasta formulada tem uma densidade de 900 kg/m³. Como é usado como revestimento de paredes além de uniformizar a temperatura do ar interior, também, em consonância, influencia a temperatura superficial das paredes, prevenindo, por sua vez, qualquer variável que possa causar desconforto térmico. Pode ser colocado em quase todo o tipo de suportes e é altamente permeável. A gama de temperaturas para qual o PCM presente na pasta de gesso muda de fase é dos 23°C até aos 26°C. Tem uma capacidade térmica avaliada em 70 kJ/kg. Como destacado anteriormente, os PCM, em caso de incêndio, podem libertar fumos que não são considerados tóxicos, mas, no entanto, podem suscitar irritações e inflamações se inalados. O produto não é considerado biodegradável, apesar da origem biológica, e se em degradação, pode libertar óxido de carbono, óxido de azoto e formaldeído. Na figura 22 apresenta-se a forma comercializada do produto em questão.



Figura 22 – Exemplo comercializado do produto ThermoConfort [74]

3.3.2.3. Knauf Group

Esta empresa alemã comercializa variados produtos em gesso. Como tal, esta empresa não produz PCM, mas adquire-o a outras empresas produtoras para introduzir esse material nos seus produtos. O principal material de mudança de fase que usa é o Micronal PCM, da empresa BASF, referido anteriormente. Tem sede em Portugal e o seu maior foco a nível comercial é o sector da construção. Os painéis de gesso que disponibilizam já são usados em diversos edifícios, devido à sua fácil aplicação e resultados, a nível térmico, satisfatórios. Os dois produtos a referir são ambos painéis de gesso cartonado, o Comfortboard e o Smartboard. Descrevem-se os dois produtos de seguida.

- Comfortboard

Estes painéis, como já mencionado, contêm Micronal PCM, comercializado, atualmente, pela MicroTek Laboratories. Este produto é bastante reconhecido devido à sua fácil aplicação e por usar um PCM bastante procurado, que é o Micronal PCM. Os painéis são pré-fabricados e têm medidas específicas, com uma espessura de 12.5 mm e uma área de $1.25 \times 2.0 \text{ m}^2$, com um peso de 11 kg/m^2 . Devido ao PCM presente no painel de gesso este tem uma capacidade de armazenamento de calor latente de 200 kJ/m^2 . Destaca-se ainda que o PCM utilizado é da gama de mudança de fase para uma temperatura de 23°C . Não necessita de cuidados específicos, de tal forma que ações de choque ou mesmo furar o painel não apresentam qualquer tipo de risco. Não tem problemas de incompatibilidade com outros materiais, quer sejam madeiras ou metais. Apresenta-se de seguida na figura 23 um exemplar de um painel Comfortboard e uma forma de aplicação do mesmo.



Figura 23 – À esquerda é representado esquematicamente um painel Confoartboard e à direita temos a sua colocação[75]

- Smartboard

Não existem grandes diferenças entre os painéis de gesso, mas alguns detalhes diferenciam ambos. Têm a mesma largura e altura, $1.25 \times 2.00 \text{ m}^2$ mas diferentes espessuras, a Smartboard tem uma espessura de 15 mm. O peso é também idêntico ao painel anterior, 11.5 kg/m^2 e a condutividade térmica é também semelhante, calculada em 0.134 W/m.K . A gama de temperaturas para que o PCM opera é entre os 23°C e os 26°C , com uma capacidade de armazenamento de calor de 330 kJ/m^2 , significativamente superior à Confortboard. Demonstra-se de seguida na figura 24 o painel e a sua infraestrutura.

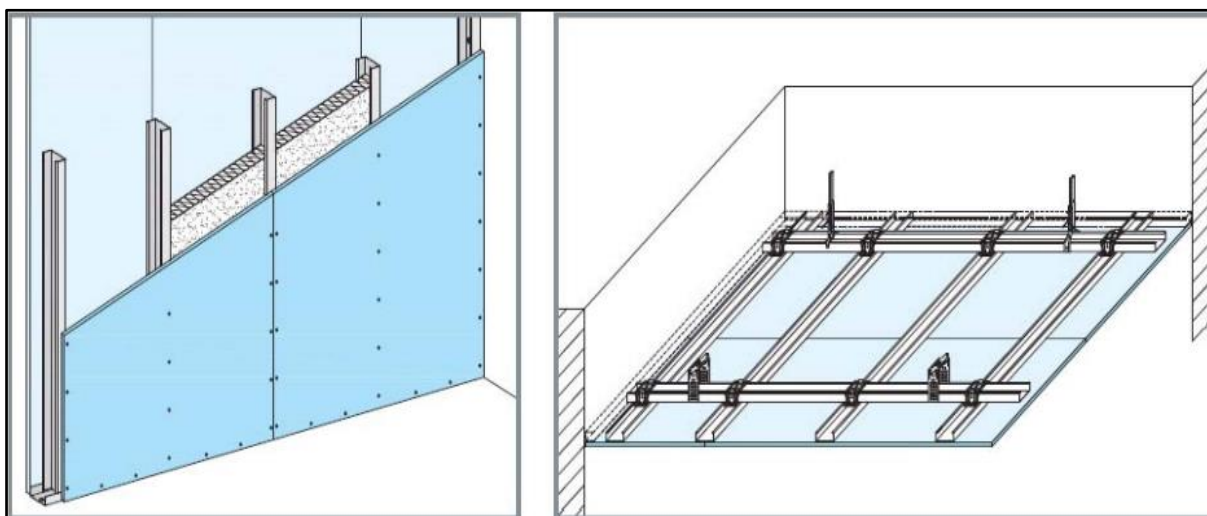


Figura 24 – Esquemas representativos do painel Smartboard de diferentes perspectivas [76]

3.3.2.3. GlassX

Esta empresa com sede na Suíça, comercializa envidraçados adicionados de PCM com o mesmo nome, GlassX. Basicamente o PCM, de origem inorgânica, está entre dois panos de vidro, estando ainda encapsulado entre as duas superfícies. O PCM é um conjunto de sais hidratados e a cápsula é formada por cadeias de policarbonato. Assim a radiação solar é em parte absorvida pelo PCM, principalmente para a estação de aquecimento diminui significativamente os ganhos solares. Realça-se que a transmissão direta de raios solares é reduzida para 45%, quando o PCM está líquido, e para 28% quando cristalizado. O calor absorvido durante o dia, será libertado durante a noite, o que permite dispensar meios mecânicos para compensar as temperaturas mais frias da noite. O PCM incorporado nos envidraçados muda de fase para um intervalo de temperaturas de 26° C a 30° C. Tem uma condutibilidade térmica de 0.48W/m².K e uma capacidade térmica máxima de 4200KJ/m². Comparando com os valores das placas de gesso referidas previamente, estes valores são bastante superiores, tal deve-se ao facto de a quantidade de PCM presente por metro quadrado do envidraçado GlassX é também bastante superior à existente num metro quadrado da Confortboard, da Knauf, por exemplo. O envidraçado tem uma espessura de 79 mm e é possível adquirir com dimensões diferentes, com um limite de 280 cm de altura e 150 cm de largura. Tem um peso de 95 kg/m² o que por si só evidencia uma aplicação deste em obra de dificuldade acrescida, além de que o custo elevado acarreta mais controlo de risco. A figura 9 ilustra as diferentes camadas do envidraçado e o modo como permite ou não a difusão da luz solar consoante o ângulo que efetua, isto é quando é na estação de arrefecimento, com temperaturas mais elevadas o sol faz um ângulo superior a 40° o que permite o bloqueio da respetiva radiação solar por parte do PCM encapsulado. Durante o Inverno o sol está num ângulo inferior a 35° e assim o PCM não bloqueia a radiação devido à disposição das camadas no sistema envidraçado, como demonstra a referida figura. Já a figura 25, apresentada em baixo, demonstra o aspeto do envidraçado quando o PCM está em estado líquido, cristalizado e na mudança de fase.



Figura 25 – Aspeto do GlassX quando o PCM está em estado líquido, em estado cristalizado e em transição de fases, respetivamente [77]

3.3.3. OUTROS PRODUTOS NO MERCADO

As empresas referidas são consideradas as de maior renome na comercialização de materiais de mudança de forma, no entanto, existe, já, um número considerável de empresas que produzem PCM, muitas das quais não mencionadas neste trabalho. Como tal será importante referir outros produtos PCM presentes no mercado, e que têm algum reconhecimento. Estas empresas têm delegações internacionais com sede em vários países abrangendo outros mercados como o da Ásia e Austrália. Destaca-se, apenas, a MicroTek Labs que agora vê no PCM Micronal, como o seu material de mudança de fase de referência. Esta empresa norte-americana focava-se essencialmente de encapsulamento destes materiais, mas com o acordo referido detém agora de conteúdo PCM para abranger os produtos que manufatura e como vê o seu mercado aumentar, garantido que mantém a disponibilidade deste produto na Europa. Refere-se que o mercado asiático, principalmente na Coreia do Sul e Japão, tem um mercado relativamente desenvolvido com várias representações de empresas, enunciadas neste trabalho, como também de várias empresas locais. A título de interesse apresenta-se numa tabela outros PCM de outras empresas reconhecidas no mercado.

No quadro 14 apresentam-se, então, outros produtos PCM comercializados por outras empresas presentes no mercado internacional. Os produtos que compõem o quadro 14 estão sob forma pura ou microencapsulados, e, assim sendo, nem todos estes espécimes podem ser aplicados diretamente em obra. Para mais informações sobre estes produtos consultar os anexos.

Quadro 14 - Propriedades de outros PCM disponíveis no mercado

Designação Comercial \ Empresa Produtora	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Calor Latente (kJ/kg)	Origem do PCM
RGEES			
PDR15P	15	154	Orgânico
PDR18P	18	233	Orgânico
PDR22P	22	185	Inorgânico

Phase Change Products			
PC14	14	145	Inorgânico
PC17	17	145	Inorgânico
PC25	25	150	Inorgânico
PC29	29	188	Inorgânico
Salca			
Thermusol HD26	26	150	Inorgânico
Thermusol HD32	32	150	Inorgânico
Climator Sweeden AB			
ClimSel C21	21	-	Inorgânico
ClimSel C24	24	-	Inorgânico
ClimSel C28	28	-	Inorgânico
ClimSel C32	32	-	Inorgânico
PCM Energy P. Ltd.			
Latest 18T	17-19	175	Inorgânico
Latest 20T	19-20	175	Inorgânico
Latest 25T	24-26	175	Inorgânico
Latest 29T	28-30	175	Inorgânico
Latest 32T	31-32	200	Inorgânico
Microtek Laboratories			
MPCM 18	18	163-173	Orgânico
MPCM 18D	18	163-174	Orgânico
MPCM 24	24	-	Mistura
MPCM 24D	24	-	Mistura
MPCM 28	28	180-195	Orgânico
MPCM 28D	28	180-196	Orgânico
MPCM 28D-IR	28	160-180	Mistura
MPCM 32	32	-	Mistura
MPCM 32D	32	-	Mistura
Cristopia			
AC 27	27	-	-

Além de outras empresas produtoras de PCM, temos ainda outras empresas que comercializam componentes de construção, com PCM, prontos para serem aplicados em obras. Estas empresas tendem a ser mais pequenas em dimensão e como tal têm uma presença no mercado mais discreta. Os produtos

apresentados no quadro 15 são ou pastas de gesso com PCM incorporado, como por exemplo o Inertek da Winco Technologies, ou painéis de gesso com PCM, como a Comfortboard do grupo Knauf. São produtos que podem ser diretamente empregues em obra, sem necessidade de nenhum processo de preparação para a sua colocação. Não existe muita informação disponível sobre estes produtos, mas a informação essencial está presente nos sites das empresas detentoras dos produtos, estas páginas da web estão devidamente destacadas nos anexos.

Quadro 15 – Propriedades de outros componentes com PCM disponíveis no mercado

Designação Comercial \ Empresa Produtora	Temperatura de Mudança de Fase (°C)	Calor Latente	Origem do PCM
Salca			
K-Block	25	590 kJ/m²	Inorgânico
SGL Group			
Ecophit GC20	22	85 kJ/kg	-
Ecophit LC20	22	140 kJ/kg	-
Maxit Deutschland			
Maxit Klima	-	-	Inorgânico
Phase change energy solutions			
BioPCMat M27	23	170-200	Orgânico
BioPCMat M51	25	170-201	Orgânico
BioPCMat M91	27	170-202	Orgânico
Thermastix	-	-	Orgânico

4

PCM – CASOS DE APLICAÇÃO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentam-se casos em que foram aplicados, em obra, alguns dos PCM, e produtos subsequentes, referidos no capítulo 3. Apresentam-se principalmente casos de edifícios de habitação ou de escritórios. Esta parte permite analisar, consoante os dados providos, quer o modo de aplicação, quer os resultados obtidos pela implementação do material. Assim, primeiramente, apresenta-se o projeto do Hotel Adrema, em que, na sua conceção, optou-se por aplicar Micronal® PCM, e apenas em alguns pisos. Esta particularidade permitiu definir um compartimento referência, dentro do mesmo edifício, com as mesmas características, e consequentemente comparar os comportamentos térmicos de ambos. Posteriormente apresentam-se dois projetos que implementaram produtos pertencentes à Winco Technologies: o primeiro caso segue os princípios do conceito construtivo Passivhaus, que define padrões altos de eficiência energética, é um projeto de um pequeno escritório alocado a uma residência, em que se aplicou Enerciel, uma argamassa que incorpora PCM; o segundo projeto estudado é de um edifício de betão leve no sul de França, em que se inseriu PCM também em forma de pasta de gesso, de nome comercial Thermo confort. De seguida apresentam-se dois projetos de edifícios que aplicaram produtos da PCM Products. O projeto de reabilitação do edifício Sir John Laing, pertencente à Universidade de Coventry, e onde se localiza a faculdade de Engenharia. O projeto almejou objetivos de baixo consumo energético e controlo dos picos de temperatura no interior do edifício. A solução encontrada passa por introdução de PCM, macroencapsulado, no teto do edifício, que auxiliado por ventilação mecânica faz o controlo térmico do edifício, e que consequentemente baixa o consumo energético do edifício, como se apresentará. O outro caso em que se aplicaram produtos da PCM Products foi na Daneshil House, um edifício de escritórios. O projeto é bastante semelhante ao projeto de reabilitação do edifício Sir John Laing, com aplicação de PCM macroencapsulado, em teto falso. Estes dois casos demonstram o sucesso da aplicação do PCM em edifícios de escritório, quer no âmbito do controlo das diferenças de temperaturas sentidas ao longo do dia, quer nos consumos baixos de energia elétrica. Os casos de estudo baseiam-se em informações tornadas públicas por parte das empresas encarregues dos projetos referidos ou pelas empresas produtoras dos respetivos PCM aplicados. Como tal, não foi possível aceder a todos os dados necessários para uma avaliação correta do desempenho do material, pois a informação sobre estes projetos está cingida aos dados providos pelas empresas e escassas peças noticiosas sobre estes edifícios.

4.2. CASO 1 – HOTEL ADREMA, ALEMANHA

A “antiga Fábrica”, do alemão “Ehemalige Fabrik”, situa-se em Gotzkowskystr, Berlim. Pode ver-se, na figura 26, o edifício contíguo ao Rio Spree. O edifício foi erigido em 1921 e posteriormente, em 1976, foi adaptado para servir como edifício de escritórios até que em 2003, sofre um programa de reabilitação e extensão do edifício. Atualmente o edifício, já de história intensa, serve os propósitos de um hotel, o hotel Adrema, numa parte do edifício, e noutra mantém o papel de central de escritórios,

ocupado pela empresa de média digital Bebehungen. O edifício de escritórios, é composto por sete pisos e uma cave. O PCM utilizado está incorporado em pasta de gesso que será usada para revestir o interior dos pisos 5º, 6º e 7º. O material de mudança de fase é o micronal PCM DS 5001, que tem uma temperatura de fusão de 26°C e com uma capacidade de armazenamento térmico avaliado em 145 kJ/kg. Utilizou-se o material referido como aditivo no estuque dos tetos dos pisos 5º, 6º e 7º. Ou seja, do 1º ao 4º piso, o estuque aplicado é o convencional, sem a presença de PCM. Regista-se que o estuque é o mesmo em todos os pisos, isto é, não foi usado estuque especial para conter o PCM, pois o micronal PCM não apresenta problemas de incompatibilidade com materiais de construção, devido à cápsula protetora, como referido nos capítulos anteriores.



Figura 26 – Vista do rio do Hotel Adrema

O estuque é aplicado com uma espessura de 4cm e tem um peso de 40kg/m². Para se observar as diferenças a nível de ambiente e de consumos energéticos constituíram-se duas salas de teste, uma no 3º piso e outra no 5º. Isto, pois, um dos pisos tem o teto revestido com estuque tradicional enquanto o revestimento do teto do 5º piso foi adicionado de micronal PCM. As salas de teste estão orientadas para Oeste, onde se encontra um envidraçado, e estão viradas para o rio. As dimensões dos compartimentos são semelhantes, com uma área de 45m² e um volume de 144m³. Na planta apresentada na figura 27 identifica-se a localização dos referidos compartimentos de teste.

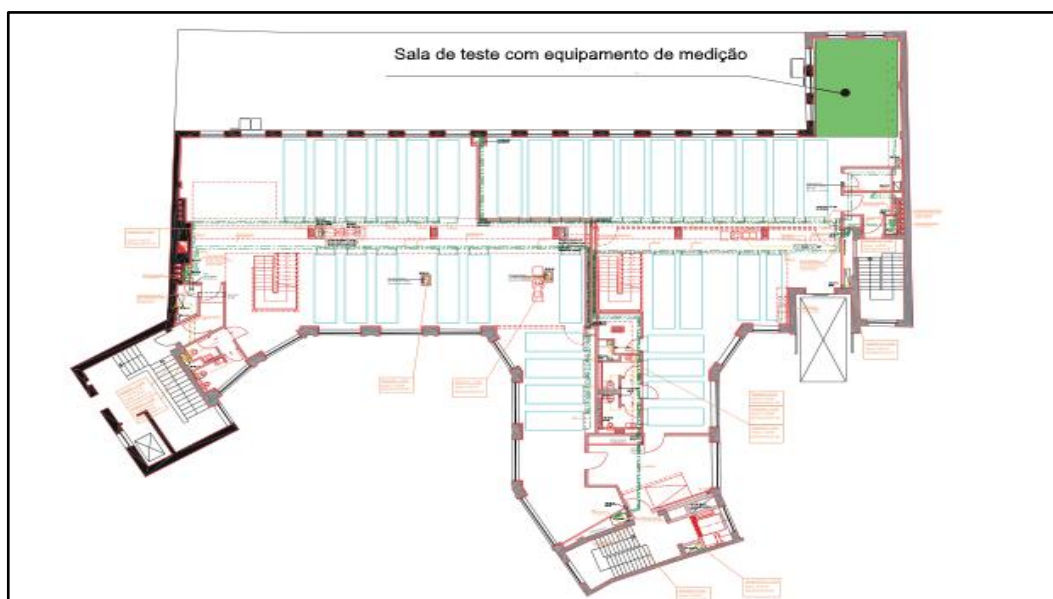


Figura 27 – Planta tipo de um dos pisos do edifício, destacado a verde está a “sala de teste” [78]

Faz-se, agora uma breve descrição do ensaio levado a cabo para se obterem os valores da temperatura nas salas de teste. As salas, como mencionado, têm dimensões semelhantes e os equipamentos no interior das mesmas, para efeitos de teste, estão dispostos de forma idêntica. Colocou-se um sensor em contato com o teto para se obterem as temperaturas superficiais interiores. Para se verificar as temperaturas do ar, colocaram-se 3 sensores a diferentes alturas, a 0,10 metros, 1,10 metros e 1,80 metros. Os compartimentos, além do envidraçado virado a oeste, têm outro envidraçado orientado a sul e, como tal, colocou-se um sensor junto a esta janela para medir a radiação solar que entra. O esquema representativo apresentado na figura 28 ilustra o interior da sala de teste.

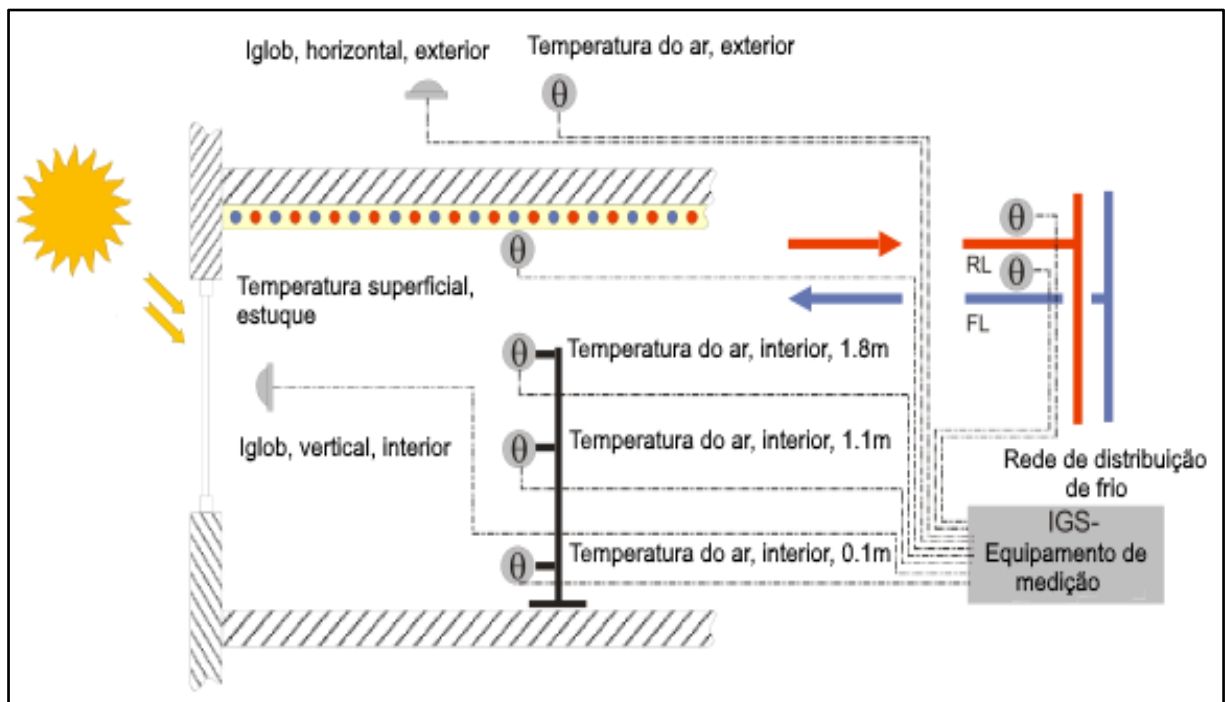


Figura 28 – Esquema representativo das “salas de teste” [78]

O período de monitorização decorreu de 17 de agosto a 20 de outubro de 2004. E neste período de tempo diversos ensaios ocorreram para casos quer com recurso a meios mecânicos, quer para climatização passiva. Numa dada semana de agosto, de 2004, foram medidas as temperaturas nos compartimentos de monitorização, sem se recorrer a meios mecânicos de arrefecimento, e assim, pode-se comparar diretamente os efeitos do PCM no estuque do 5º piso, em relação ao estuque sem PCM do 3º Piso. Ora, os resultados demonstram que o micronal PCM tem efeitos significativos, com a temperatura do ar interior do 5º piso, por vezes, a ter uma diferença de temperaturas na ordem dos 2°C. O gráfico da figura 29 explana os resultados da temperatura do ar média, temperatura superficial do teto e radiação solar para o interior dos dois quartos. No gráfico seguinte, da figura 30, expõem-se os valores das temperaturas do ar e da radiação solar para dois dias, 21 e 22 de agosto. Verifica-se neste último que as diferenças entre as variações horárias de temperatura superficial e do ar, entre o 3º e o 5º piso, são praticamente constantes, com o micronal PCM a ter um efeito significativo no ambiente interior, sem recorrer a arrefecimento auxiliar mecânico.

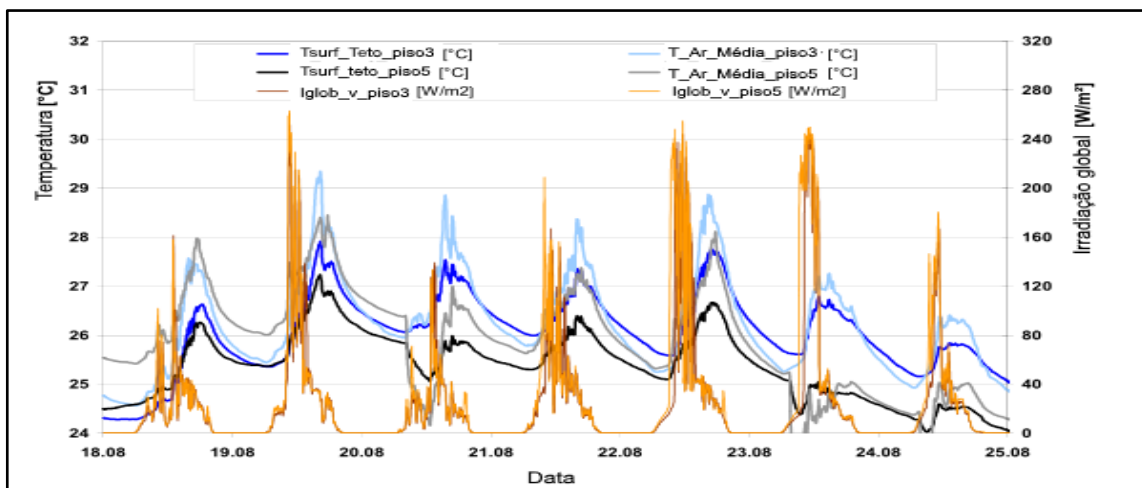


Figura 29 – Gráfico da radiação solar e das temperaturas medidas para a semana de 18 a 25 de agosto [78]

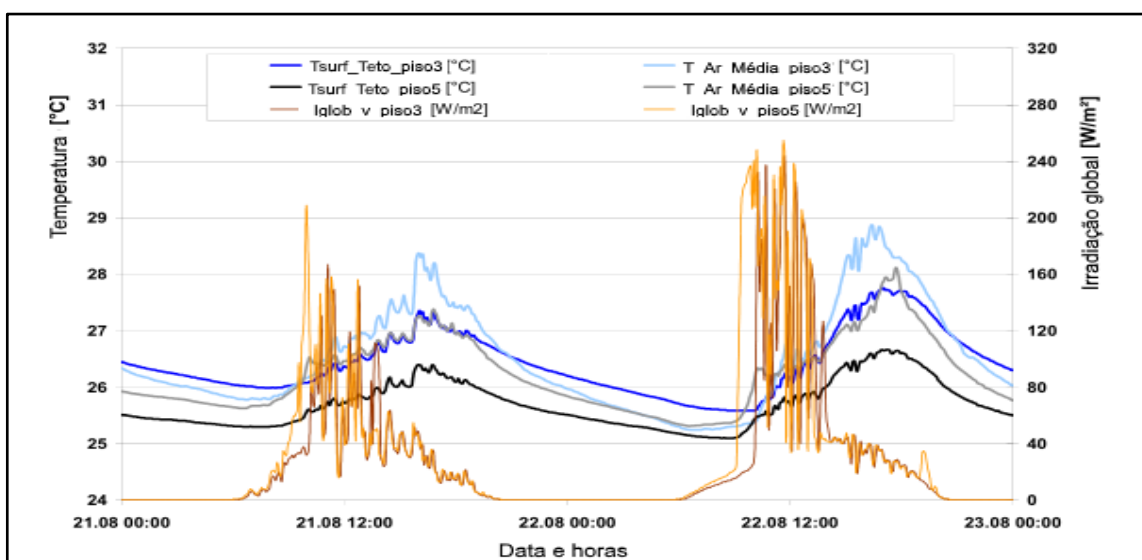


Figura 30 - Gráfico da radiação solar e das temperaturas medidas para os dias 21 e 22 de Agosto [78]

4.3. CASO 2 - PROJETO MIZU, FRANÇA

O caso apresentado, de seguida, parte do conceito de PassivHaus, que se baseia na definição de padrões de eficiência, do ponto de vista energético, de conforto térmico, economicamente acessível e sustentável [79]. É um pequeno projeto de um escritório de uma companhia de engenharia, HINOKI, como se pode ver na figura 31. Através desta mesma figura, observa-se a arquitetura inspirada na cultura japonesa, que caracteriza esteticamente este projeto, denominado Mizu. Esta pequena habitação localiza-se nos arredores da cidade de Rennes, França. O compartimento, como referido, cumprirá as funções de um escritório e existe como continuação da casa principal. Devido aos altos padrões estabelecidos vários problemas foram identificados no desenvolvimento do projeto, entre quais, o facto de ter uma grande superfície total de contato com o exterior, o que gera perdas de calor significativas e, ainda, a sua pequena dimensão dificulta uma ventilação balanceada.



Figura 31 – Vista Sul do pequeno escritório [80]

A habitação construída à base de madeira é fundada em pequenos pilares de pedra, um detalhe da cultura de construção japonesa, o chão tem um isolante térmico muito eficaz com um λ de 0.0077 W/m.K . Acrescenta-se que, devido a este sistema, não existem pontes térmicas a considerar pelo pavimento. O PCM incorporado é a pasta de gesso Enerciel da Winco Technologies, que tem uma temperatura de fusão de 23°C e tem uma capacidade de reter calor latente na ordem dos 60 kJ/kg . Este material foi incluído no pavimento e nas paredes com uma espessura de 6 milímetros e está disposto como se pode observar nos pormenores construtivos apresentados nas figuras 32 e 33. A primeira figura, observam-se os componentes que fazem o pavimento. Destaca-se neste pormenor o revestimento térmico que se apresenta em diferentes posições e de diferentes naturezas. Identifica-se como isolantes térmicos no pavimento: lã de madeira; lã de vidro; fibra de madeira entre outros. Assim, e como já dito, a ocorrência de pontes térmicas é nula. Também se verifica em ambas as figuras que o PCM é apenas usado na face interior das paredes. Através da análise da figura 33 denota-se que apenas se faz uso de isolamento térmico de lã de madeira e fibra de madeira, tal deve-se ao facto do escritório ser uma continuação da casa e, por conseguinte, a constituição das paredes é idêntica. Como se conclui, a casa está, propriamente, isolada termicamente. A questão das entradas de ar, que neste tipo de casas de pequena dimensão é problemática, foi resolvida logo de início na sua construção, em que se utilizou material e técnicas próprias para garantir que o compartimento estaria definitivamente selado ao exterior. Portanto, nestas condições, a ventilação é essencialmente mecânica, que gera caudais de ar entre os $60 \text{ m}^3/\text{h}$ e os $160 \text{ m}^3/\text{h}$, para facilitar a transição de fases do PCM, principalmente da sua solidificação, durante a noite.

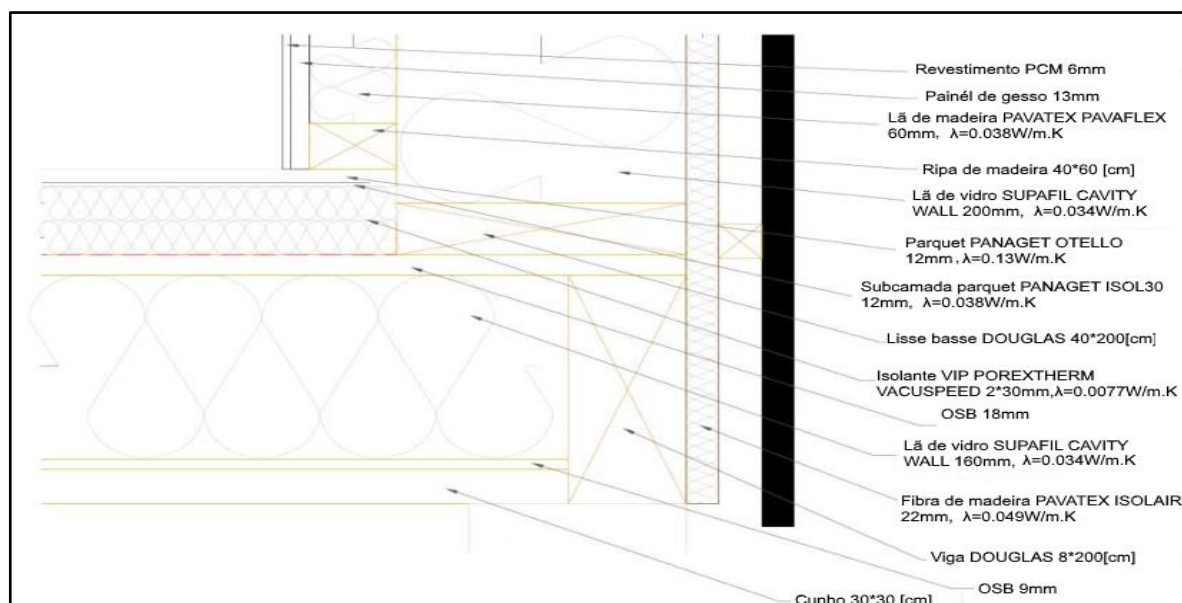


Figura 32 – Pormenor Construtivo do pavimento [81]

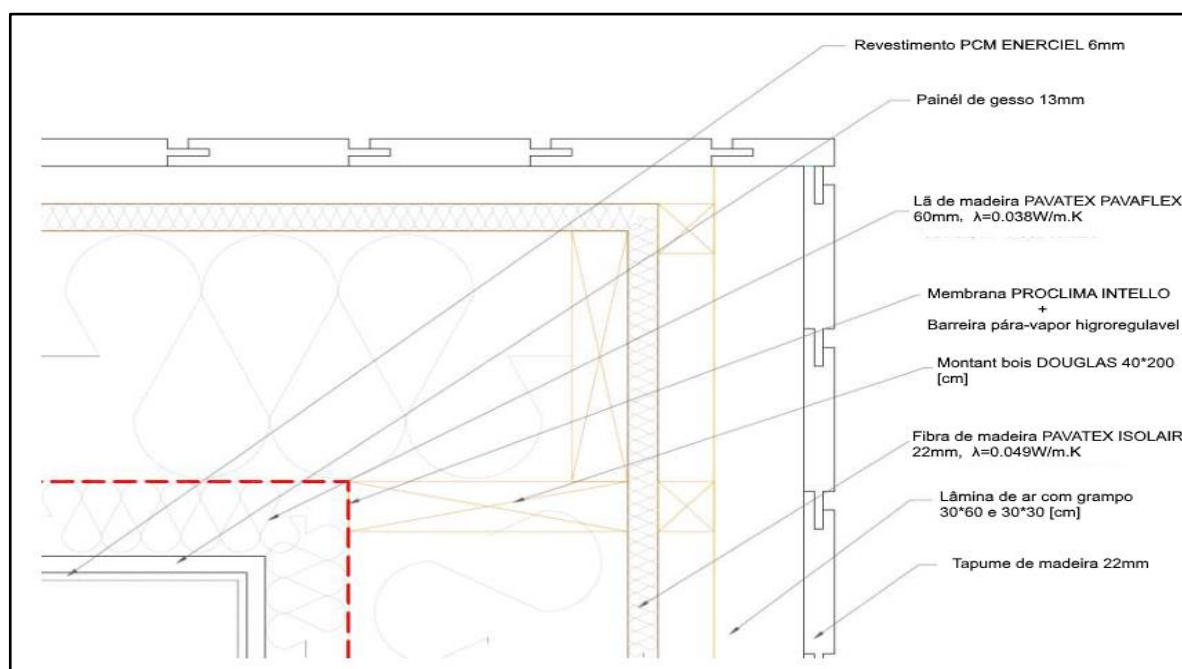


Figura 33 – Pormenor Construtivo da parede [81]

A condutividade térmica das paredes é aproximadamente $0.157\text{ W/m}^2.\text{K}$, a condutividade do pavimento é de $0.087\text{ W/m}^2.\text{K}$, a da cobertura é de $0.105\text{ W/m}^2.\text{K}$ e do envidraçado é de $0.79\text{ W/m}^2.\text{K}$. Com estes valores de condutividade térmica, senão fosse pela ventilação forçada, o PCM não teria condições adequadas para ciclos de fusão-solidificação funcionais. Na figura 34 apresenta-se um gráfico das oscilações de temperatura interiores no período de junho de 2015. As temperaturas são medidas com recurso uma sonda de temperatura introduzida no interior do revestimento.

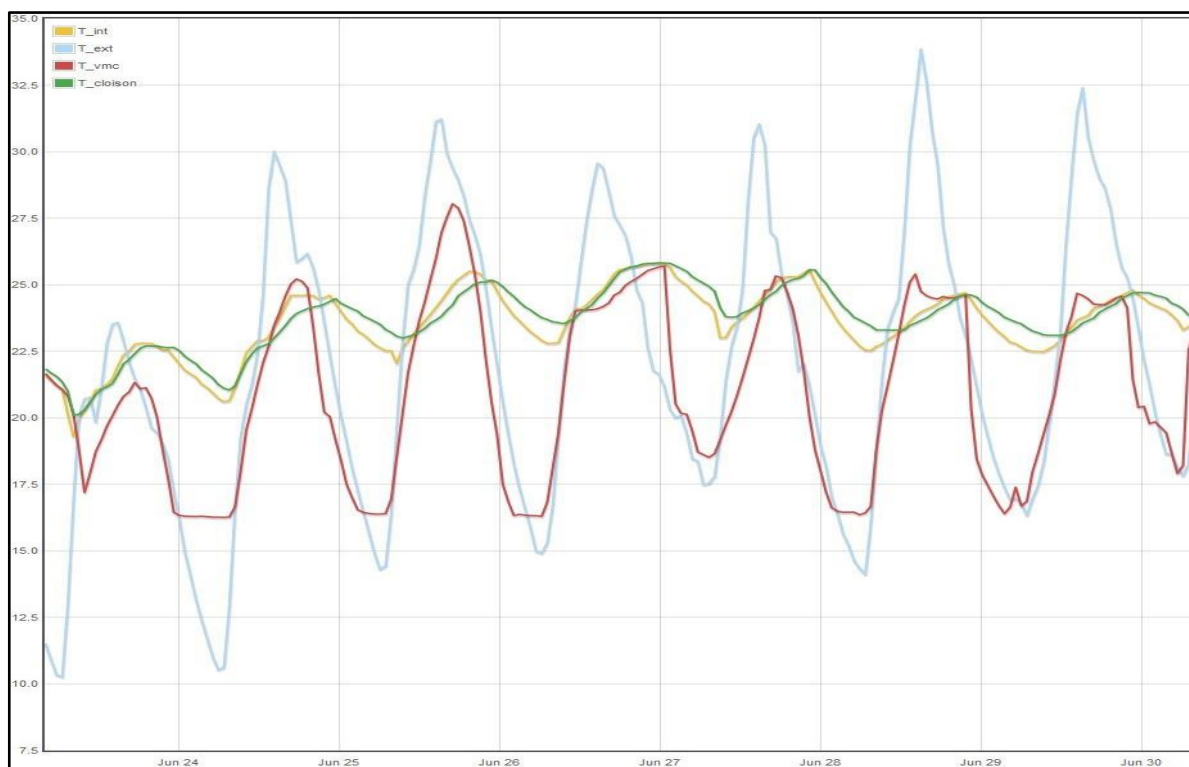


Figura 34 – Gráfico de temperaturas no interior do pequeno escritório em junho de 2015

Este projeto tem uma elevada eficiência de consumos energéticos. No entanto, esta eficiência deve-se em maior parte ao isolamento térmico deste escritório. De seguida, na tabela 3 podem-se observar os valores de necessidades energéticas e também os valores de referência, que este projeto se propôs a atingir, para obter a classificação de PassivHaus.

Destaca-se ainda o custo deste projeto que rondou os 25 000 €, e este custo deve-se em grande parte aos materiais usados, que são de grande qualidade, atente-se que tendo em conta o projeto delineado, a isso estava obrigado, para poder cumprir os requisitos energéticos. Devido à dimensão reduzida deste projeto o custo por metro quadrado foi de 2000 €. A sua dimensão, acrescenta-se, é também uma das razões que elevou o custo de projeto, pois os materiais usados tiveram de ser largamente redimensionados, isto é, sofrendo cortes, ajustes, para devida colocação.

Tabela 3 – Valores das necessidades térmicas que cumprem os valores da certificação Passivhaus

		Certificação estandardizada passiva
Resultado teste de permeabilidade	0,4 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹
Necessidade de calor para aquecimento anual	12 kWhEP/m ² .ano	15 kWhEP/m ² .ano
Necessidade de energia primária	94 kWhEP/m ² .ano	120 kWhEP/m ² .ano
Necessidade de arrefecimento anual	0 kWhEP/m ² .ano	15 kWhEP/m ² .ano

4.4. CASO 3 – HABITAÇÃO DE BETÃO LEVE, FRANÇA

Edifício de habitação localizado no sul de França. Foi aberto um projeto de melhoramento das condições de conforto térmico na época de arrefecimento, pois tem grande exposição na orientação a Sul o que provocava grandes picos de calor. A Winco Technologies, produtora de PCM referida no capítulo anterior em conjunto com a YTONG, empresa com uma marca reconhecida no mercado de materiais de construção, apresentaram um projeto de reabilitação que permitisse garantir condições de conforto térmico sem a instalação de sistemas AVAC de grandes consumos energéticos. Decidiu-se empregar Thermo Confort, uma pasta de gesso com PCM incorporado, que tem temperatura de fusão entre os 23° C e os 26° C. Foram integrados 425 kg desta pasta de gesso que no total poderão armazenar cerca de 10 150 W.h, ou 36 540 kJ. Na figura 35 pode-se ver o edifício em questão.



Figura 35 – Edifício de habitação do sul de França [82]

A aplicação desta pasta de gesso é demonstrada na figura 36. Numa primeira fase assegura-se que superfície de aplicação está limpa, dura e seca, sem nenhum tipo de pó ou poros, e espalha-se o primário para posterior aplicação do Thermo Confort. O primário contém, na sua composição, 15 % de PCM e é espalhado diretamente no betão estrutural. Aplica-se, então, o Thermo Confort, pulverizando-se sobre superfícies grandes, aconselhando-se a utilização de uma espátula inoxidável para uma aplicação manual da pasta de gesso em áreas de difícil aplicação. Posteriormente, alisa-se a superfície e para uma correta secagem estima-se um período de 12 horas, este intervalo de tempo corresponde a condições de temperatura de 20°C e uma humidade relativa de 50%. Destaca-se que, depois da secagem do revestimento, é possível cobrir o estuque com tinta, papel de parede e outros revestimentos, no entanto, aconselha-se um teste de aderência e compatibilidade antes de se executar tal pós-revestimento. A figura 37 pretende demonstrar como se idealizou a parede com o estuque de PCM aplicado como componente de uma parede tipo.



Figura 36 – Aplicação de THERMO CONFORT [82]

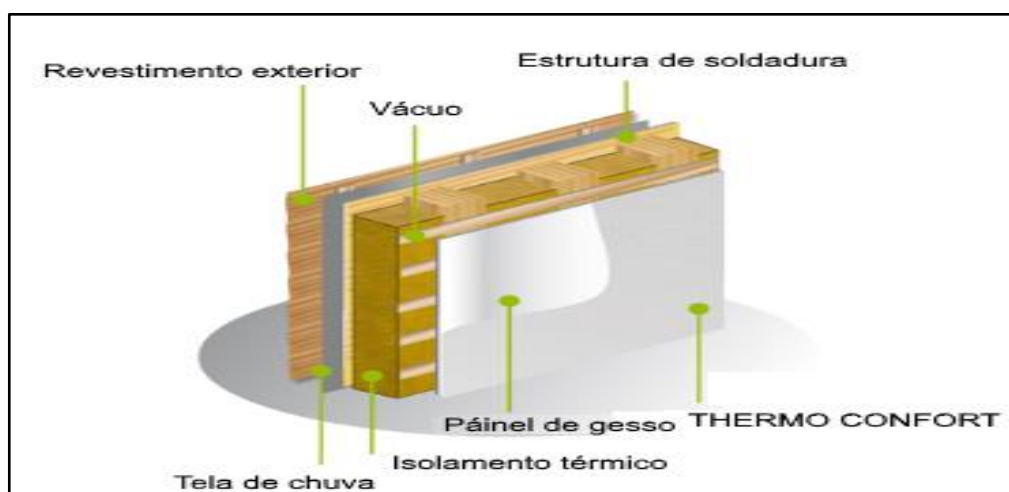


Figura 37 – Revestimento THERMOCONFORT exemplificado numa parede tipo [83]

4.5. CASO 4 – SIR JOHN LAING BUILDING, REINO UNIDO

Este edifício de dois pisos, que é um dos departamentos de engenharia da universidade de Coventry, é composto principalmente por escritórios e salas comuns com a função de escritório. Assim, estes compartimentos estão ocupados por vários utilizadores e equipamento eletrónico, que geram calor considerável. Para avaliar a ação do PCM no controlo climático utilizou-se tubeICE, que não é mais que PCM encapsulado em forma de tubo. A cápsula contém sais hidratados produzidos pela PCM Products Ltd da gama S27, com temperatura de fusão nos 27° C, e com uma capacidade de armazenamento calorífico estimada em 180 kJ/kg. Na figura 38 observa-se a planta do edifício, onde está destacado a vermelho onde se introduziu o tubeICE, e na figura 39 pode-se verificar, ainda, como este se encontra disposto no edifício.

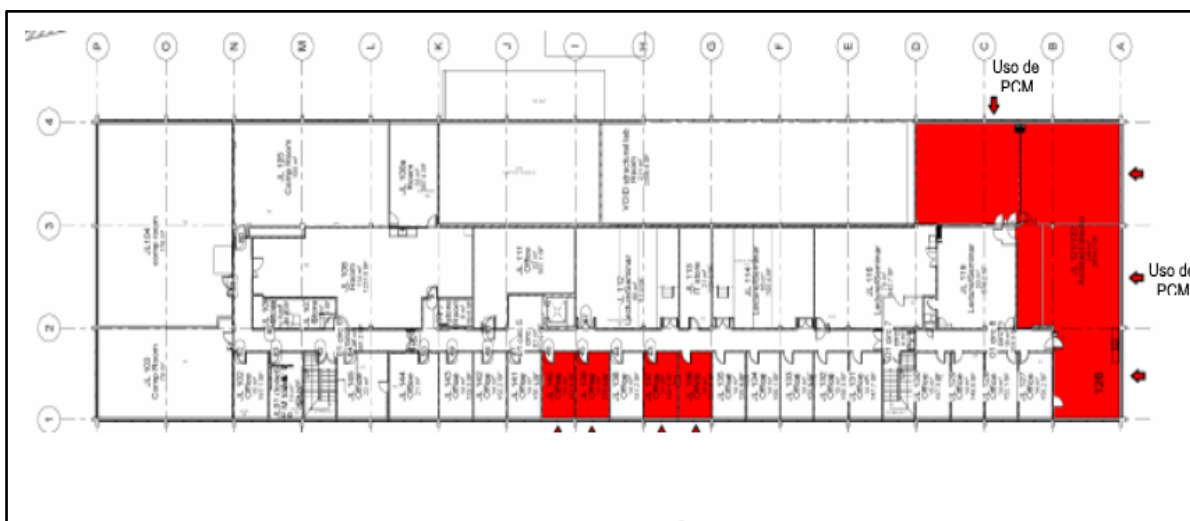


Figura 3811 – Planta do 2º piso onde foi instalado o PCM no teto [84]



Figura 39 – TubeICE e a sua disposição no teto falso [84]

O princípio de funcionamento desta aplicação são os ciclos de carregamento e descarregamento em sintonia com os ciclos dia noite. Para tal efeito condutas de ventilação foram colocadas entre a cobertura

e o teto falso. Assim, à noite, com recurso às condutas o ar fresco do exterior entra e consequentemente o PCM em estado líquido solidifica e liberta energia, previamente absorvida. De dia, aquando o edifício está em serviço, o PCM absorve o calor por radiação solar, através da cobertura, e do interior, provocado pelos utilizadores e equipamentos. De seguida, no quadro 16, apresentam-se os resultados obtidos da aplicação da tecnologia tubeICe.

Quadro 16 - Consumos energéticos caracterizados antes e depois da aplicação do PCM [84]

Tipo de Consumo	Medida	Pré-Intervenção	Pós-Intervenção	Poupança
Caldeira	MWh	418,8	399,3	11,35%
Sistema energético total	MWh	448,8	428,9	10,58%
Gás natural total	MWh	418,8	399,3	11,35%
Electricidade total	MWh	30,1	30,1	0%
Emissões de Carbono total	Kgco2	106,064	101,614	9,67%
Energia total	MWh	448,8	428,9	10,58%
Energia total	kWh/m ²	122,6	117,2	10,58%

4.6. CASO 5 – DANESHILL HOUSE, REINO UNIDO

Este caso de estudo localiza-se no Reino Unido, mais especificamente em Stevenage. É um edifício de escritórios do governo local originalmente erigido na década de 1950. A obra é composta por dois edifícios contíguos: um “bloco antigo”, de 6 andares feito praticamente em betão e com uma grande área de envidraçados, esta parte do edifício sofreu uma renovação com especial incidência no melhoramento das características térmicas do envidraçado, adicionando-se envidraçado secundário; um “bloco recente”, feito em betão, também, no entanto este bloco tem melhor comportamento térmico, devido ao isolamento térmico pela fachada de tijolo, e também devido à menor área de envidraçado. Acrescenta-se apenas que em relação ao “bloco antigo” o processo de renovação feito na década de 1980 piorou as condições de conforto térmico, com queixas principalmente devido a sobreaquecimento no Verão, estação de arrefecimento. Aquando da decisão de nova renovação do edifício em questão o móbil foi, precisamente, a necessidade de melhorar as condições térmicas de modo a garantir um ambiente favorável ao trabalho que decorre no edifício. Assim vários sistemas foram pensados entre os quais a instalação de sistema de ar-condicionado, em concreto, uma instalação mecânica de nome DX air-conditioning. No entanto, verificou-se que este sistema de re-circulação de ar além de consumos energéticos elevados, não garantia condições de conforto térmico, principalmente aos ocupantes que se situassem perto das unidades referidas, o que, aliado a um pé-direito baixo, característica dos edifícios da época, cria condições muito desfavoráveis. Assim, aliou-se, ao objetivo de melhorar as condições térmicas, o objetivo de o conseguir através de soluções energeticamente baratas e de baixo consumo. A solução optada visa o uso do sistema “Cooldeck”, um sistema de arejamento noturno, utilizando a massa térmica do edifício. Com o intuito de diminuir o desconforto térmico na época de arrefecimento, adicionaram-se sais hidratados da PCM Products da gama S 24, para um maior controlo térmico. O princípio de funcionamento é semelhante ao caso anterior do edifício Sir John Laing Building, da Universidade de Coventry, em que o sistema Cooldeck, através das ventoinhas instaladas deixa entrar o ar mais frio, noturno, que irá, por sua vez, fazer com que o PCM solidifique e possa armazenar energia calorífica de novo, através da fusão, no dia seguinte. O funcionamento do sistema de ventilação só ocorre quando de dia as temperaturas excedem os 24° C e, ainda, para casos em que a temperatura interior atinja os 18° C, é parado o sistema, para evitar sobrearrefecimento. O sistema de ventilação tem ainda função diária, para quando as temperaturas ultrapassam os 24° C, as ventoinhas instaladas fazem o ar quente

percorrer o teto falso, impregnado de PCM, e este absorve o calor e assim o ar, depois da passagem pelo PCM, com temperaturas mais baixas é, então, libertado para o compartimento. Este princípio de funcionamento pode ser evidenciado na figura 40 em conjunto com as disposições em local do PCM, que se refere, a cápsula protetora é de alumínio, sendo um produto macroencapsulado considera-se um caso semelhante, ao já enunciado, caso d reabilitação do edifício de Sir John Laing, que também utiliza macrocápsulas de PCM.

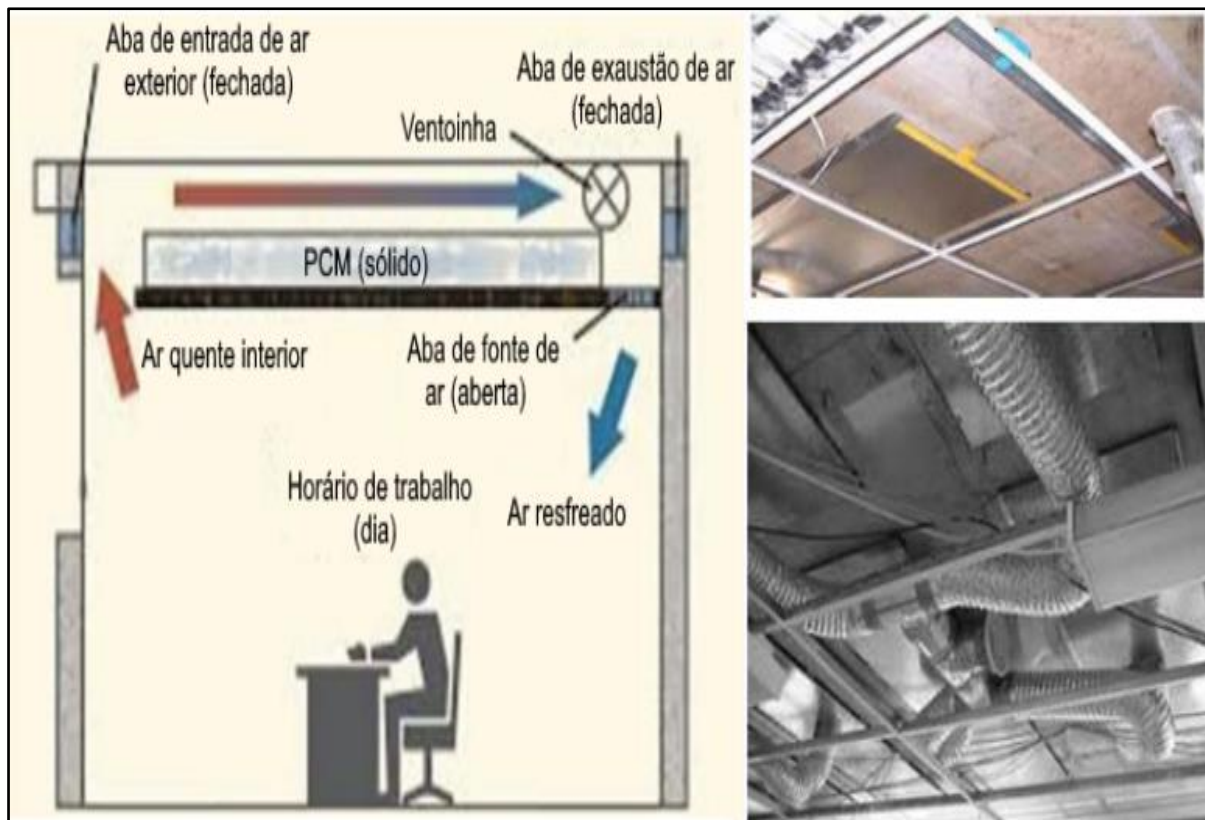


Figura 40 – Na imagem da esquerda vê-se um esquema representativo do funcionamento do sistema “Cooldeck”; Nas imagens da direita observam-se: na de cima a colocação do PCM em placas de aço inseridas no tecto falso, na de baixo é o sistema de condutas de ventilação [85]

O sistema de Cooldeck implementado foi aplicado, também, com o intuito de aumentar a condutibilidade térmica do teto. Assim, as transições de calor entre o edifício e o exterior tendem a ser mais rapidamente efetuadas. É necessário atentar, contudo, que, como já demonstrado, o PCM tem uma condutibilidade térmica baixa, o que, pode impedir a eficácia das referidas transições, e, assim, percebe-se a necessidade da inclusão do PCM num sistema ativo, que com recurso às condutas de ventilação mantém os ciclos de fusão-solidificação do PCM coordenados com os ciclos de utilização do edifício. Para tal coordenação, o funcionamento das ventoinhas é crucial no processo e, caso geral, estão programadas para velocidade alta durante a noite, para condicionar termicamente o interior do edifício para, de dia, o ambiente esteja propício ao trabalho, altura, também em que se reduz para mínima a velocidade das ventoinhas, para estender ao limite as condições estabelecidas de noite. Este tipo de sistema que visa o uso de PCM em tetos suspenso e com recurso a ventilação noturna para, assim, beneficiar financeiramente das tarifas elétricas noturnas, de custo mais baixo, foi o cerne do estudo de T. Kondo e T. Ibamoto [86] que conclui que a implementação destes sistemas em edifícios de baixa inércia térmica realmente tem benefícios financeiros significativos e com resultados positivos a nível de controlo de temperatura, devido à introdução do PCM.

4.7. CASO 6 – iCON INOVATTIONS CENTRE, REINO UNIDO

Este projeto baseou-se numa arquitetura icónica combinada com soluções inovadoras a nível do ambiente e de sustentabilidade. Localizado em Daventry, Reino Unido, o edifício é composto por 55 escritórios de primeira classe e ainda um centro de conferências para 250 pessoas, aliado de compartimentos para diversas funcionalidades. Este centro de negócios é indicado para empresas de ideias “verdes” e sustentabilidade, essencialmente. Como tal, o edifício deve ter consumos baixos aliado de uma alta eficiência do seu uso. Para garantir conforto térmico, necessário para, por sua vez, garantir condições apropriadas para trabalho, aplicou-se no edifício PCM desenvolvido pela Dupont. O PCM, já analisado, de nome Energain, está inserido em painéis de fácil instalação com dimensões $100 * 120 * 0.526 \text{ m}^3$. Os painéis foram instalados em paredes, posteriormente cobertos por painéis de gesso, e também nos tetos, por cima dos painéis de revestimento. Acrescenta-se, por curiosidade, que devido à introdução do PCM e com fins de investigação científica, certos compartimentos não têm estes painéis com PCM, para servirem de referência a estudos de eficiência energética, como de comportamento térmico, semelhante ao caso do Hotel Adrema. Apresenta-se de seguida o centro Icon, na figura 41, através de uma fotografia.



Figura 41 – iCon Innovations Center, Daventry [87]

Na figura 42 pode-se observar a planta do edifício, que tem uma área de $4\,000 \text{ m}^2$, em que foram utilizados 475 m^2 de painéis que contêm Energain. Os painéis foram a solução encontrada para aplicar PCM de forma fácil, sem necessidade de recorrer a equipamentos caros e específicos. Devido às suas dimensões e ao seu baixo peso esta solução terá sido, porventura, a mais apropriada, tendo em conta as referidas dimensões do edifício.



Figura 42 – Planta do iCon Innovations Center, Daventry [87]

Não foi possível obter os consumos energéticos do edifício nem tão pouco o comportamento térmico deste, sendo apenas referido que o consumo do edifício a nível de carbono totaliza, num ano, 15 kg de dióxido de carbono. Apresenta-se, por outro lado, o processo de aplicação destes painéis de PCM na figura 43. Inicialmente fazem-se as medições necessárias para saber as dimensões dos painéis a aplicar pois estes painéis podem ser cortados, perfurados, aparafusados sem qualquer risco para o operário em causa. Antes da aplicação da placa com PCM é necessário selar, com fita adesiva apropriada, as bordas da placa para prevenir exsudação do PCM. Depois é só aplicar na zona requerida e posteriormente cobre-se com revestimento próprio, sendo aconselhado o uso de painéis de gesso cartonado.

Resta só acrescentar que a ventilação do edifício é feita recorrendo a sistema de ar-condicionado, como na maior parte dos casos apresentados. Sendo um edifício de dimensões consideráveis é necessário garantir o funcionamento correto do PCM e para tal a ventilação tem um papel crucial, neste projeto em particular, pois assegura a consonância dos ciclos de fusão-solidificação com os ciclos de utilização do edifício.



Figura 43 – Aplicação dos painéis que contêm Energain [88]

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho incidiu essencialmente na apresentação dos produtos disponibilizados no mercado, com detalhes técnicos das propriedades de maior interesse, e a de casos de aplicação destes produtos em casos de referência. Seguidamente destacam-se os maiores concernes em relação aos produtos referidos assim como a sua aplicação em obra.

Denota-se desde já a falta de trabalhos quer do foro científico quer do lado privado das empresas sobre a casos práticos de aplicação de PCM. Do lado científico existem inúmeros estudos sobre PCM, mas no que toca a casos práticos, os trabalhos desenvolvidos cernam-se em simulações, quer com recurso a programas informáticos, como o EnergyPlus, quer com o desenvolvimento de experiências controladas e previamente parametrizadas. Obviamente que os resultados obtidos têm de ser contextualizados, e, assim, as inferências possíveis de retirar estão, portanto, limitadas. Por outro lado, os projetos que as empresas que comercializam estes produtos apresentam, carecem de dados essenciais para conclusões mais precisas da aplicação destes materiais em obra. Como tal, pode-se destacar, seguramente, que os produtos PCM existem em diversidade suficiente para poderem ser introduzidos em variadas formas em vários tipos de edifícios, mas as possíveis benesses garantidas por parte das empresas devem também ser contextualizadas pois estes resultados esperados do uso de PCM estão intrinsecamente ligados com os ciclos de mudança de estado que ocorrem.

Os produtos de PCM são produtos ainda em investigação, mas já existem em variabilidade e diversidade consideráveis, e assim, já se encontram em quase todos os mercados internacionais, com maior foco, claro está, nos mercados europeu, americano e asiático, o último com especial ênfase. No que se refere ao mercado europeu todos os produtos apresentados neste trabalho cumprem as normas europeias e não apresentam qualquer tipo de entrave legal no seu em construção nacional. Acrescenta-se ainda que as empresas analisadas disponibilizam todo o tipo de características e propriedades técnicas dos seus PCM e produtos subsequentes, como se pode evidenciar no capítulo 3, em que foram expostas as particularidades, consideradas, mais relevantes. Assim, pode-se concluir, que os produtos analisados estão devidamente estudados e é possível obter todo o tipo de dados técnicos para a sua inclusão num projeto. Destaca-se, apenas, que os valores monetários para aquisição dos referidos produtos, no que se refere à substância sob forma pura, só é possível com contacto direto com a empresa produtora. Já no que se refere a produtos encapsulados, ou pastas de gesso, ou outros derivados os custos podem ser obtidos diretamente dos sites das companhias detentoras dos produtos.

Como se depreende deste trabalho os PCM já são uma solução com algum uso, principalmente em edifícios que pretendem cumprir requisitos energéticos e ambientais de excelência, também denominados de NZEB, acrónimo para “Near-Zero Energy Buildings”, edifícios que têm consumos

energéticos e impactos ambientais praticamente nulos. Assim, a sua disseminação em projetos correntes de edifícios de habitação, é muito baixa. Analisou-se apenas um caso de aplicação, de pasta de gesso Thermo Confort da Winko Technologies, num edifício de habitação no capítulo 4. Demonstrou-se a aplicação em obra do produto, mas, denota-se, no entanto, que dos resultados, apresentados por parte da empresa, faltam dados em relação às temperaturas sentidas no interior, que evidenciem as capacidades de controlo térmico, razão que levou a implementação de PCM no edifício descrito.

Como referido no primeiro parágrafo é essencial que os ciclos de transição de fases experienciada pelo PCM estejam em sintonia com os ciclos de utilização de edifícios. Nos casos apresentados, principalmente os edifícios de serviços, como o do Hotel Adrema e o do Edifício de Sir John Laing, evidencia-se a importância dada as transições de fase devido a inclusão de sistemas mecânicos de ventilação que garantem o funcionamento devido por parte dos materiais de mudança de fase. Como já explanado, a ventilação força a solidificação do PCM durante a noite, para certos limites de temperatura, para o material estar apto para absorver calor durante o dia, altura em que os edifícios têm o maior número de utilizadores no seu interior.

Finalmente, e como conclusão geral, com os variados trabalhos de investigação de integração de PCM em construção, e, ainda, com os dados disponibilizados por parte das empresas, a aplicação de materiais de mudança de forma é uma realidade, não só para o futuro, com, já, soluções integradas existentes, que comprovam os benefícios térmicos, energéticos e ambientais providenciados por estes materiais. Embora, como referido, os benefícios que se espera obter pelo uso destes materiais exigem uma atenção especial no que toca às transições de fase, o que, por vezes, obriga à implementação de sistemas de ventilação mecanicamente forçada, mas pode-se inferir que, em comparação a um hipotético caso de referência, o uso de PCM é vantajoso. Refere-se, contudo, que o uso de PCM em Portugal é caso raro, mas, apresenta-se a tese de mestrado, por parte de Nélson Tiago Dias Ferreira da Silva [89], de um projeto nacional que usou PCM, o empreendimento em questão são as Residências Solverde, em Famalicão. Este caso não foi incluído nos anteriores pois o PCM usado, de produção nacional, não é uma marca referenciada, e é um produto que a única informação conhecida está presente na tese referida. Destaca-se essencialmente a comprovação da efetiva regulação das temperaturas interior por parte do PCM, nestes edifícios de habitação unifamiliar. Assim, embora os produtos de PCM estejam ainda longe de serem produtos correntes na construção nacional, o seu uso cumpre com todas as regulamentações e, assim, o seu uso traz benefícios evidentes e apenas se aconselha, no desenvolvimento de um projeto, estudos rigorosos na sua aplicação, para assim o PCM cumprir com as funções para as quais foi designado.

5.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Existe a clara necessidade de dar continuidade aos estudos sobre estes materiais e sobre o seu uso em obra. Embora existam já inúmeros trabalhos sobre o tema, são poucos os projetos que implementaram este material na sua constituição e com pouca informação referenciada sobre os respetivos resultados energéticos é consideravelmente complexo correlacionar os resultados obtidos com os apontados por diversos estudos. Assim, sugere-se o acompanhamento de um projeto que implemente produtos PCM para se entender o método de aplicação do material, mas seria de maior relevo, a apresentação de resultados a nível de consumo energético para vários intervalos de tempo, detalhando, claro está, a colocação do material, o clima do local entre outros detalhes essenciais a uma avaliação correta. Tal considera-se necessário pois, os artigos de investigação sobre a aplicação destes produtos baseiam-se essencialmente em simulações, com recurso a programas informáticos, que, embora, sejam de maior facilidade de execução e com resultados válidos, do ponto de vista científico, a não consideração de

alguns fatores na dada simulação pode ser a razão da não verificação dos resultados em obra. Acrescenta-se que na existência de dados comprovados da implementação de PCM em obra, detalhados e parametrizados, podem ser usados posteriormente para um melhoramento das simulações numéricas realizadas.

A ventilação tem um papel preponderante no bom funcionamento dos PCM num edifício. Como visto, a ação de ventilação ajuda na transição de fases do material, principalmente à noite. Como tal, seria interessante avaliar o desempenho do PCM para casos de ventilação natural e com recurso a mecanismos de ventilação forçada. Para os casos de sistemas de ar-condicionado já existem diversos artigos a discutir o assunto, e neste mesmo trabalho os casos de projetos que usaram PCM, no geral, recorrem a ventilação forçada para um correto funcionamento dos materiais. No entanto, não existem muitos projetos que não tenham sistema de ar-condicionado, e seria importante verificar-se, para o caso de sistema passivo, sem auxílio mecânico e, portanto, com caudais de ar irregulares, se afetaria as mudanças de fase do material, de que modo e que consequências decorreriam.

Como última sugestão fica a avaliação financeira e económica da introdução destes materiais em obra. Geralmente, na discussão sobre os benefícios que o PCM tem no seu uso, refere-se as poupanças de consumo energético. Alguns artigos foram mencionados neste trabalho que demonstram que, por vezes, a ação do PCM não previne o uso de ar-condicionado e não gera poupanças energéticas. Será importante, portanto, uma parametrização correta da avaliação, quer tal ocorra numa simulação ou numa aplicação prática. Este trabalho, no capítulo 4, refere os consumos energéticos, e assim, pode-se inferir sobre as poupanças económicas do edifício. No que se refere a custos financeiros, o mesmo não pode ser dito. Estes não devem só auferir os valores monetários dos produtos em si, como também da sua aplicação e de produtos auxiliares, porventura necessários, para uma correta implementação do material.

Referências Bibliográficas

1. *DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO relativa ao desempenho energético dos edifícios*, C.E. Parlamento Europeu, Editor. 19 de Maio de 2010, Jornal Oficial da União Europeia.
2. *Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios*, D.-G.d.E.e. Geologia, Editor. 2014.
3. *Diretiva 2012/27/EU Artigo 7.º Medidas Políticas Alternativas ao Regime de Obrigação de Eficiência Energética*, D.-G.d.E.e. Geologia, Editor. 2013.
4. Regin, A.F., S.C. Solanki, and J.S. Saini, *Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008. **12**(9): p. 2438-2458.
5. Cox, J.D., *Notation for states and processes, significance of the word standard in chemical thermodynamics, and remarks on commonly tabulated forms of thermodynamic functions*, in *Pure and Applied Chemistry*. 1982. p. 1239.
6. Tyagi, V.V. and D. Buddhi, *PCM thermal storage in buildings: A state of art*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007. **11**(6): p. 1146-1166.
7. Lane, G.A., *Solar heat storage: latent heat materials*. Vol. 1. 1983: CRC Press.
8. Luís Matias, C.P.d.S., *Critérios para um conforto térmico sustentável nos edifícios em Portugal*, LNEC, Editor. 2012.
9. *Glossary: PCM's in Thermal Energy Storage Applications*. 2015; Available from: <http://www.rubitherm.de/english/>.
10. Ana Cristina Fernandes, M.D.G., Rita Ribeiro, Sofia Rodrigues *Relatório do Estado do Ambiente 2015*. 2015, Agência Portuguesa do Ambiente.
11. microtek Laboratories, i.

12. Pasupathy, A., R. Velraj, and R.V. Seeniraj, *Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008. **12**(1): p. 39-64.
13. Pielichowska, K. and K. Pielichowski, *Phase change materials for thermal energy storage*. Progress in Materials Science, 2014. **65**: p. 67-123.
14. Hale, D.V., Hoover, M. J. and O'Neill, M. J, *Phase Change Materials Handbook*. 1971, National Aeronautics and Space Administration.
15. Hasnain, S.M., *Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques*. Energy Conversion and Management, 1998. **39**(11): p. 1127-1138.
16. Sari, A. and K. Kaygusuz, *Some fatty acids used for latent heat storage: thermal stability and corrosion of metals with respect to thermal cycling*. Renewable Energy, 2003. **28**(6): p. 939-948.
17. Zhou, D., C.Y. Zhao, and Y. Tian, *Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications*. Applied Energy, 2012. **92**: p. 593-605.
18. Kaasinen, H., *The absorption of phase change substances into commonly used building materials*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1992. **27**(2): p. 173-179.
19. Su, J.-F., et al., *Fabrication and properties of microencapsulated-paraffin/gypsum-matrix building materials for thermal energy storage*. Energy Conversion and Management, 2012. **55**: p. 101-107.
20. PureTemp. Available from: <http://www.puretemp.com/>.
21. Rubitherm. Available from: <https://www.rubitherm.eu/en/>.
22. Cabeza, L.F., et al., *Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings*. Energy and Buildings, 2007. **39**(2): p. 113-119.
23. Hunger, M., et al., *The behavior of self-compacting concrete containing micro-encapsulated Phase Change Materials*. Cement and Concrete Composites, 2009. **31**(10): p. 731-743.
24. Khudhair, A.M. and M.M. Farid, *A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials*. Energy Conversion and Management, 2004. **45**(2): p. 263-275.
25. Zhu, N., Z. Ma, and S. Wang, *Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review*. Energy Conversion and Management, 2009. **50**(12): p. 3169-3181.
26. Sadineni, S.B., S. Madala, and R.F. Boehm, *Passive building energy savings: A review of building envelope components*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(8): p. 3617-3631.
27. T., D.S., *Free cooling systems: design and application guidance*. 2004.

28. Halford, C.K. and R.F. Boehm, *Modeling of phase change material peak load shifting*. Energy and Buildings, 2007. **39**(3): p. 298-305.
29. Lucas Souza de Oliveira, J.A.A., *Materiais de Mudança de Fase*. 2015, Centro Universitário Ritter dos Reis.
30. Standardization, I.O.f., *ISO 7730 2005-11-15 Ergonomics of the Thermal Environment: Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*. 2005: ISO.
31. Kalnæs, S.E. and B.P. Jelle, *Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities*. Energy and Buildings, 2015. **94**: p. 150-176.
32. Hadjieva, M., S. Kanev, and J. Argirov, *Thermophysical properties of some paraffins applicable to thermal energy storage*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1992. **27**(2): p. 181-187.
33. Jelle, B.P., *Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory*. Journal of Materials Science, 2012. **47**(18): p. 6475-6496.
34. Lane, G.A., *Solar Heat Storage: Latent Heat Material*. Vol. 2. 1986: CRC Press.
35. Hawes, D.W., D. Feldman, and D. Banu, *Latent heat storage in building materials*. Energy and Buildings, 1993. **20**(1): p. 77-86.
36. Ling, T.-C. and C.-S. Poon, *Use of phase change materials for thermal energy storage in concrete: An overview*. Construction and Building Materials, 2013. **46**: p. 55-62.
37. Lee, T., et al., *Control aspects of latent heat storage and recovery in concrete*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2000. **62**(3): p. 217-237.
38. Memon, S.A., et al., *Development of structural-functional integrated concrete with macro-encapsulated PCM for thermal energy storage*. Applied Energy, 2015. **150**: p. 245-257.
39. Eddhahak-Ouni, A., et al., *Experimental and multi-scale analysis of the thermal properties of Portland cement concretes embedded with microencapsulated Phase Change Materials (PCMs)*. Applied Thermal Engineering, 2014. **64**(1–2): p. 32-39.
40. Entrop, A.G., H.J.H. Brouwers, and A.H.M.E. Reinders, *Experimental research on the use of micro-encapsulated Phase Change Materials to store solar energy in concrete floors and to save energy in Dutch houses*. Solar Energy, 2011. **85**(5): p. 1007-1020.
41. Pomianowski, M., P. Heiselberg, and R.L. Jensen, *Dynamic heat storage and cooling capacity of a concrete deck with PCM and thermally activated building system*. Energy and Buildings, 2012. **53**: p. 96-107.
42. Pomianowski, M., P. Heiselberg, and R.L. Jensen, *Full-scale investigation of the dynamic heat storage of concrete decks with PCM and enhanced heat transfer surface area*. Energy and Buildings, 2013. **59**: p. 287-300.

43. Sá, A.M.V.D.O.e., *Sustentabilidade na Construção - Comportamento térmico de edifícios em Portugal usando materiais de mudança de fase*. 2012, FEUP.
44. Kheradmand, M., et al., *Experimental and numerical studies of hybrid PCM embedded in plastering mortar for enhanced thermal behaviour of buildings*. Energy, 2016. **94**: p. 250-261.
45. Kuznik, F., J. Virgone, and J.-J. Roux, *Energetic efficiency of room wall containing PCM wallboard: A full-scale experimental investigation*. Energy and Buildings, 2008. **40**(2): p. 148-156.
46. Ascione, F., et al., *Energy refurbishment of existing buildings through the use of phase change materials: Energy savings and indoor comfort in the cooling season*. Applied Energy, 2014. **113**: p. 990-1007.
47. Ghoneim, A.A., S.A. Klein, and J.A. Duffie, *Analysis of collector-storage building walls using phase-change materials*. Solar Energy, 1991. **47**(3): p. 237-242.
48. Chandra, S., et al., *Thermal performance of a non-air-conditioned building with PCCM thermal storage wall*. Energy Conversion and Management, 1985. **25**(1): p. 15-20.
49. Sajjadian, S.M., J. Lewis, and S. Sharples, *The potential of phase change materials to reduce domestic cooling energy loads for current and future UK climates*. Energy and Buildings, 2015. **93**: p. 83-89.
50. Kong, X., et al., *Numerical study on the thermal performance of building wall and roof incorporating phase change material panel for passive cooling application*. Energy and Buildings, 2014. **81**: p. 404-415.
51. Athienitis, A.K. and Y. Chen, *The effect of solar radiation on dynamic thermal performance of floor heating systems*. Solar Energy, 2000. **69**(3): p. 229-237.
52. Ismail, K.A.R. and J.R. Henríquez, *Parametric study on composite and PCM glass systems*. Energy Conversion and Management, 2002. **43**(7): p. 973-993.
53. Weinläder, H., A. Beck, and J. Fricke, *PCM-facade-panel for daylighting and room heating*. Solar Energy, 2005. **78**(2): p. 177-186.
54. GlassX. *Light as glass, solid as concrete*. Available from: <http://www.glassxpcm.com/>.
55. Scalat, S., et al., *Full scale thermal testing of latent heat storage in wallboard*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1996. **44**(1): p. 49-61.
56. Alawadhi, E.M., *Using phase change materials in window shutter to reduce the solar heat gain*. Energy and Buildings, 2012. **47**: p. 421-429.
57. Sarier, N. and E. Onder, *Organic phase change materials and their textile applications: An overview*. Thermochimica Acta, 2012. **540**: p. 7-60.

58. Abelshauser, W., et al., *German Industry and Global Enterprise: BASF: The History of a Company*. 2003: Cambridge University Press.
59. Goedicke, J., *BASF to divest its Micronal® PCM business to Microtek Laboratories*. 2017, BASF
60. Cogliano, V., et al., *Advice on formaldehyde and glycol ethers*. The Lancet Oncology. 5(9): p. 528.
61. *Micronal® PCM Intelligent Temperature Management for Buildings*, B. SE, Editor. 2010.
62. Ben Welter, K.L., *PureTemp Earns USDA Biobased Product Certification*. 2014, <https://www.newswire.com/press-release/untitled-2063179>: MINNEAPOLIS, MINNESOTA.
63. *PureTemp® Thermal Energy Storage Materials*. Entropy Solutions.
64. Ltd, P.P., *PlusICE® Phase Change Materials*. 2013.
65. *PlusICE® Phase Change Materials*. 2013, PHASE CHANGE MATERIAL PRODUCTS LIMITED.
66. *SP25E2 Data Sheet*. 2016, Rubitherm Technologies GmbH.
67. *RT 25 Data Sheet*. Rubitherm Technologies GmbH.
68. *PX 25 Data Sheet*. Rubitherm Technologies GmbH.
69. Alessandro Chiovato, C.S., *Solvay Acquires Energain™ Technology from DuPont and Extends its Advanced Li-Ion Batteries Offer*. 2017: Seul.
70. *DuPont™ Energain® Energy-saving thermal mass systems*. 2012, DuPont de Nemours.
71. technologies, m., *INERTEK Microcapsules*, W. Technologies, Editor.
72. Solutions, E. *PCM Products - Puretemp*. Available from: <http://store.puretemp.com/>.
73. Technologies, W., *Insulation Materials*.
74. Technologies, W. *Thermoconfort*. Available from: <http://www.winco-tech.com/fr/produit/thermo-confort/>.
75. Group, K., *Knauf Comfortboard*.
76. Group, K., *Smartboard*.
77. GlassX, *GlassX® crystal*.
78. Univ. Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch, D.-I.L.K., *Use of Microencapsulated Phase Change Materials*

in Office Blocks. Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS).

79. PHPT, A.P.P.-. *Passivhaus - Conceito*. Available from: <http://www.passivhaus.pt/conceito.html>.
80. GmbH, P.D., *Passive House Database - case 4254 - "Mizu" Project*.
81. Passivhaus, *MIZU PROJECT - The smallest Passive Haus in the World*.
82. Technologies, W., *THERMO CONFORT : Light concrete house in South of France*.
83. Technologies, W., *Thermo-regulating plaster*.
84. Ltd, P.P. PCM. Available from: <http://www.pcmproducts.net/>.
85. Zafer URE M.Sc., C.E., MCIBSE, MASHRAE, M.Inst.R, MIIR, *Phase change material based passive cooling systems design principal and global application examples*, in *12 th International Conference on Sustainable Energy technologies*. 2013: Hong Kong.
86. Kondo, T. and T. Ibamoto. *Research on thermal storage using rock wool phase-change material ceiling board*. in *ASHRAE Transactions*. 2006.
87. ArchDaily. *iCon Innovation Center / Consarc Architects*. Available from: <http://www.archdaily.com/138218/icon-innovation-center-consarc-architects>.
88. Joseph A. King Jr., P., *Hydrocarbon-based PCM Applications*, in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference:*

Thermal Mass VI Workshop. 2010.

89. Silva, N.T.D.F.d., *Incorporação de Materiais de Mudança de Fase em Materiais de Construção*, in *Engenharia Civil*. 2009, Universidade do Minho.

Anexos

Technical Data Sheet

Product : PDR15P

Description : Composite materials

Appearance : White/Tan Powder.

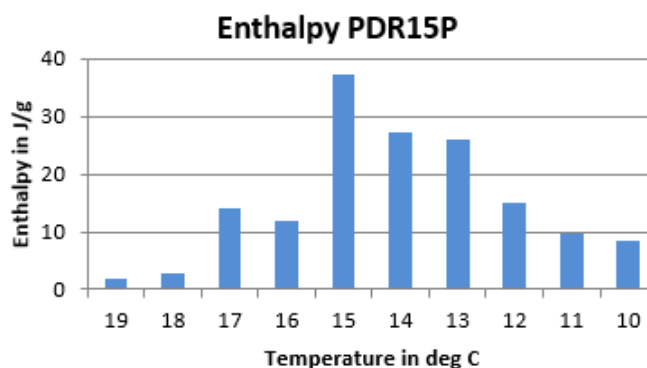
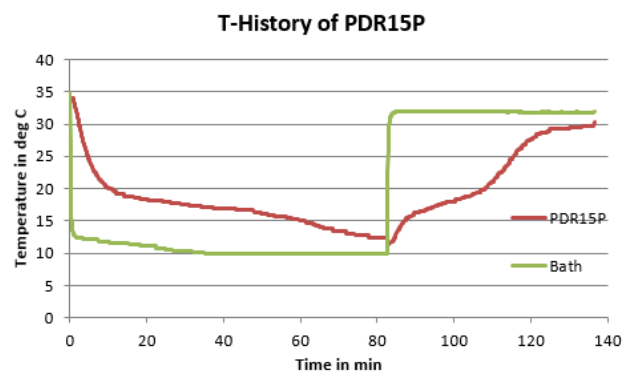


Fig1: T-History & Enthalpy graph for PDR15P

Property	Value*	Test Method	Test Conditions (if any)
Melting Onset Temperature (°C)	15.6	T-History	@ 32°C Liquid Bath
Melting Peak Temperature (°C)	20.2	DSC	
Freezing Onset Temperature (°C)	19.8	T-History	@ +10°C Liquid Bath
Latent Heat (kJ/kg)	154 (137)	T-History (DSC)	@ +22 to +13°C
Bulk Density (kg/m ³)	570	ASTM D7481-09	@ 25°C
Liquid Specific Heat (kJ/kgK)	1.8	Calorimeter	@ 30°C
Solid Specific Heat (kJ/kgK)	1.2	Calorimeter	
Base Material	Organic		
Flammability	YES		
* Nominal Values. Actual values mentioned in Test Certificate			

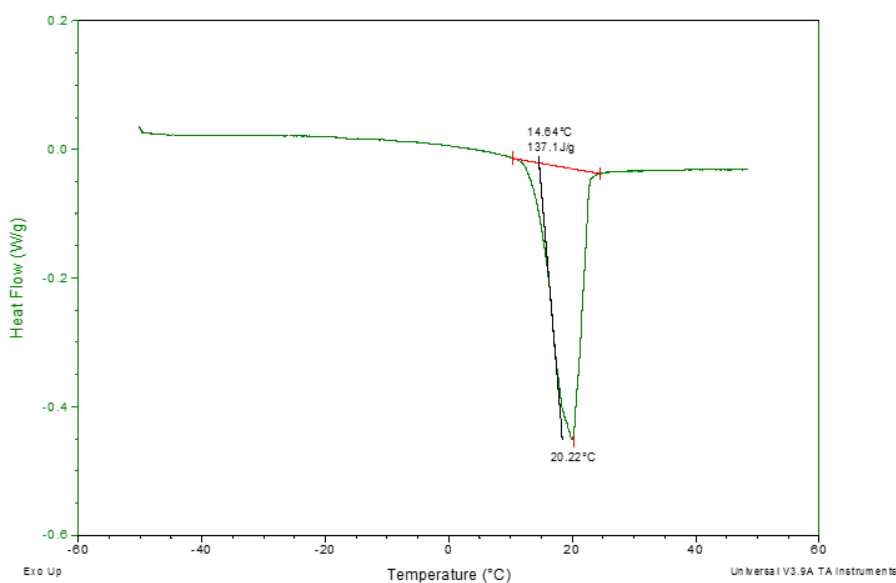


Fig2: DSC for PDR15P

Technical Data Sheet

Product : OM18P

Description : Mixture of organic materials

Appearance : Colorless Liquid.

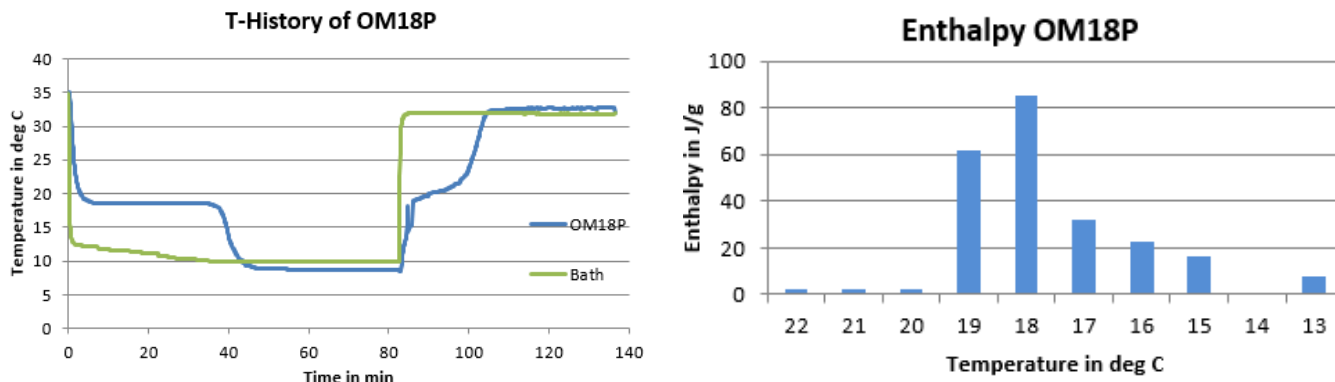


Fig1: T-History & Enthalpy graph for OM18P

Property	Value*	Test Method	Test Conditions (if any)
Melting Onset Temperature (°C)	18.7	T-History	@ 32°C Liquid Bath
Melting Peak Temperature (°C)	19.26	DSC	
Freezing Onset Temperature (°C)	18.8	T-History	@ +10°C Liquid Bath
Latent Heat (kJ/kg)	233 (223)	T-History (DSC)	@ +22 to +13°C
Liquid Density (kg/m ³)	750	ASTM D891-95	@ 25°C
Solid Density (kg/m ³)	780	Internal	@ -10°C
Liquid Specific Heat (kJ/kgK)	2.2	Calorimeter	@ 30°C
Solid Specific Heat (kJ/kgK)	1.8	Calorimeter	
Base Material	Organic		
Flammability	YES		
* Nominal Values. Actual values mentioned in Test Certificate			

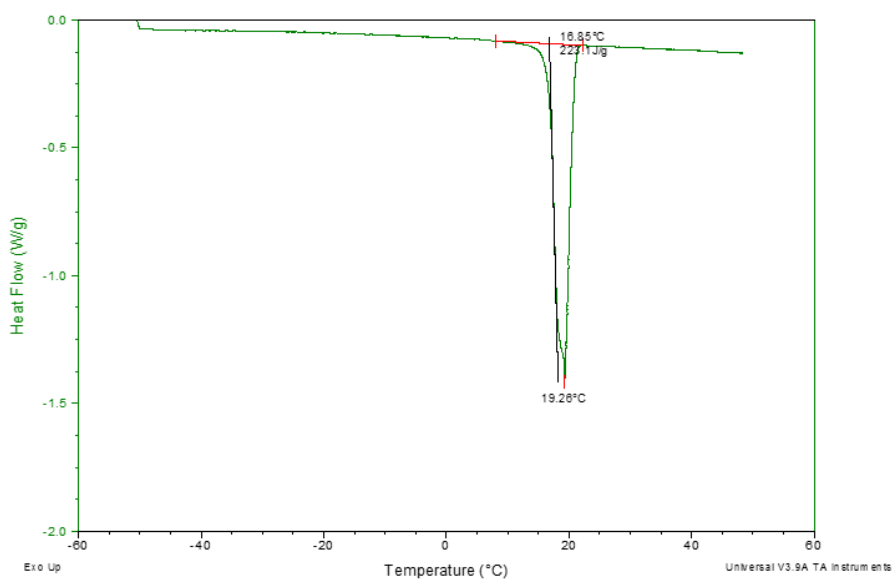


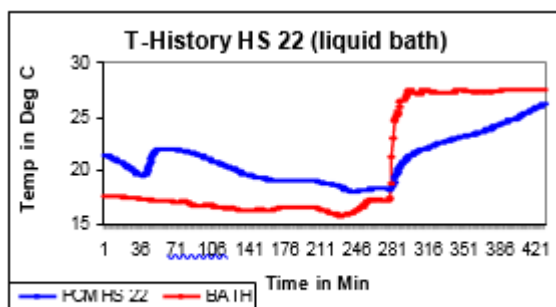
Fig2: DSC for OM18P

Technical Data Sheet

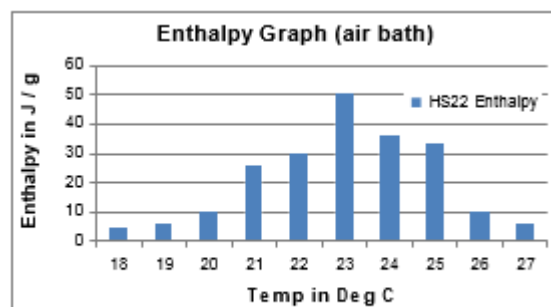
Product : HS22P

Description : Inorganic material

Appearance : Brown / gray colored liquid above 25 °C



T-History graph for HS22P



Enthalpy Vs Temp for HS22P

Fig1: T-History graph for HS22 done in liquid & air bath

A 30 g sample is taken in a test tube in molten condition and placed in a temperature-controlled bath. A temperature sensor is placed in the test tube and bath to record the temperatures using a data logger. The bath is maintained at around 12 °C during the freezing cycle and at around 32 °C during the melting cycle.

Property	Value*	Test Method	Test Conditions (if any)
Melting Temp (°C)	23.0	T-History	@ 32 °C Liquid Bath
Freezing Temp (°C)	22.0	T-History	@ 12 °C Liquid Bath
Latent Heat (kJ/kg)	185	T-History	@ 20 to 23 °C
Liquid Density (kg/m ³)	1540	ASTM D891-95	@ 30 °C
Solid Density (kg/m ³)	1840	Internal	@ 0 °C
Liquid Specific Heat (kJ/kgK)	3.04	Calorimeter	@ 31 °C
Solid Specific Heat (kJ/kgK)	2.2	Calorimeter	@ 0 °C
Liquid Thermal Conductivity (W/mK)	0.56	KD2Pro	@ 30 °C
Solid Thermal Conductivity (W/mK)	1.13	KD2Pro	@ 15 °C
Base Material	Inorganic		
Congruent Melting	YES		
Flammability	NO		
Thermal Stability (Cycles)	~2000	Internal	
Maximum Operating Temperature (°C)	~80		
Flash Point (°C)	NA		

* Nominal Values. Actual values mentioned in Test Certificate

PC14 Technical Data Sheet

Appearance: White crystalline solid or clear to milky white liquid above 14°C

Chemical composition: Hydrated calcium chloride and calcium bromide (min.90%)

Density: 1.75 g/cm³ at 12°C

Specific gravity: 1.60 at 20°C

Melting point: 14°C

Latent heat of fusion: 145 kJ/kg (isothermal max)

Heat capacity (liquid): 1.50 kJ/kg°C (est.)

Heat capacity (solid): 2.50 kJ/kg°C (est.)

Thermal conductivity (solid): 0.010 J/sec/cm°C (est.)

Thermal conductivity (liquid): 0.005 J/sec/ cm°C (est.)

Non flammable

Non Dangerous Goods classification – MSDS available on application.

Materials compatibility up to 40°C:

All common thermo resins and thermo-set resin

Glass, concrete, rubber and hardwoods.

Extended contact with various steels, stainless steels, aluminum or copper-based alloys only where oxygen is excluded.

It is strongly recommended that intended material usage compatibility be confirmed with qualified materials specialist or with PCP.

PC17 Technical Data Sheet

Appearance: White crystalline solid or clear to milky white liquid above 17 °C

Chemical composition: Hydrated calcium chloride and calcium bromide (min.90%)

Density: 1.80 g/cm³ at 15°C

Specific gravity: 1.65 at 20°C

Melting point: 17°C

Latent heat of fusion: 145 kJ/kg (isothermal max)

Heat capacity (liquid): 1.5 kJ/kg°C

Heat capacity (solid): 2.5 kJ/kg°C (est.)

Thermal conductivity (solid): 0.010 J/sec/cm°C (est.)

Thermal conductivity (liquid): 0.005 J/sec/ cm°C (est.)

Non flammable

Non Dangerous Goods classification – MSDS available on application.

Materials compatibility up to 40°C:

All common thermo resins and thermo-set resin

Glass, concrete, rubber and hardwoods.

Extended contact with various steels, stainless steels, aluminum or copper-based alloys only where oxygen is excluded.

It is strongly recommended that intended material usage compatibility be confirmed with qualified materials specialist or with PCP.

PC25 Technical Data Sheet

Appearance: White crystalline solid or clear to milky white liquid above 25°C

Chemical composition: Hydrated calcium and magnesium and chlorides (min.90%)

Density: 1.70 g/cm³ at 15°C

Specific gravity: 1.58 at 30°C

Melting point: 25°C

Latent heat of fusion: 150 kJ/kg (isothermal max)

Heat capacity (liquid): 2.73 kJ/kg°C

Heat capacity (solid): 1.73 kJ/kg°C

Thermal conductivity (solid): 0.011 J/sec/cm°C

Thermal conductivity (liquid): 0.0054 J/sec/ cm°C

Non combustible

Non flammable

Non Dangerous Goods classification – MSDS available on application.

Materials compatibility up to 40°C:

Most common thermo resins and thermo-set resin

Glass, concrete, rubber and hardwoods.

Not recommended for extended contact with various stainless steels, aluminum or copper-based alloys.

It is strongly recommended that intended material usage compatibility be confirmed with qualified materials specialist or with PCP.

PC29 Technical Data Sheet

Appearance: White crystalline solid or clear to milky white liquid above 29°C

Chemical composition: Hydrated calcium chloride (min.90%)

Density: 1.71 g/cm³ at 25°C

Specific gravity: 1.58 at 32°C

Melting point: 29°C

Latent heat of fusion: 188 kJ/kg (isothermal max)

Heat capacity (liquid): 2.31 kJ/kg°C

Heat capacity (solid): 1.43 kJ/kg°C

Thermal conductivity (solid): 0.0109 J/sec/cm°C

Thermal conductivity (liquid): 0.0054 J/sec/ cm°C

Non combustible

Non flammable

Non Dangerous Goods classification – MSDS available on application.

Materials compatibility up to 50°C:

Most common thermo resins and thermo-set resin

Glass, concrete, rubber and hardwoods.

Not recommended for extended contact with various stainless steels, aluminium or copper-based alloys.

It is strongly recommended that intended material usage compatibility be confirmed with qualified materials specialist or with PCP.



THERMUSOL® HD32SE

MICRO ENCAPSULATED SALT-HYDRATES

Physical Properties

Physical form Fire resistant white powder

Density 1,3 kg/L

Bulk density 0,78 kg/L

Heat storage temperature range 30 °C-40 °C

Latent heat storage capacity 150 kJ/kg

Volumetric latent heat storage capacity 195 kJ/L

Specific heat capacity 2,0 kJ/kg.K

Particle size 50 µm

150610-1

ClimSel™ C21



Transport



Room



Body

Typically used for temperature stabilized transports of refrigerated products.
Also used for passive cooling of buildings and of people/animals.

Typical temperature stabilization span

21°C ↔ 26°C

70°F ↔ 79°F

Product description

ClimSel™ C21 is a salt hydrate based Phase Change Material that works by either the charging or discharging of energy at different temperatures. ClimSel™ C21 is delivered in various sizes of aluminium foil pouches. Its main components are sodium sulphate, water and additives.

Physical data

Phase change temperature: Solid	21°C / 70°F
Phase change temperature: Liquid	26°C / 79°F
Latent heat of fusion (see curve)	37 Wh/kg – 134 kJ/kg
Specific gravity	1.4 kg/litre
Thermal conductivity: Solid	0.93 W/m/°K
Thermal conductivity: Liquid	0.75 W/m/°K

Estimated functionality time

If the products are handled correctly, and the packaging is kept uncompromised, the product will continue to cycle as intended over time, with no known lifetime limit.

Note: ClimSel™ C21 will only work as declared for as long as the pouch is intact.

Usage guidelines

- Recommended storage temperature: 10-20°C / 50-60°F.
- Preparation before use depends on application conditions.
- Handle the ClimSel™ C21 pouch with care and do not bend when solid.
- Do not use damaged pouch, as the product functionality will be compromised.

Damaged products

- If damaged pouch is suspected, it shall be thoroughly inspected before use.
- Damaged products shall be discarded and treated in accordance with federal, state and local requirements for EWC (=European Waste code) = 060314.

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
www.climator.com
climator@climator.com

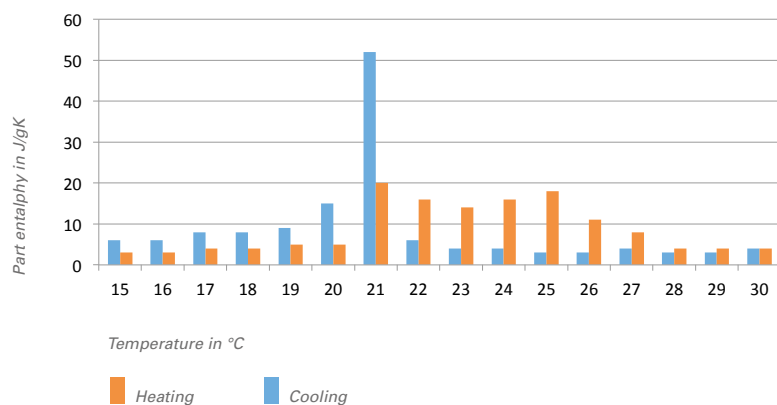
Climator
moving energy in time

150610-1

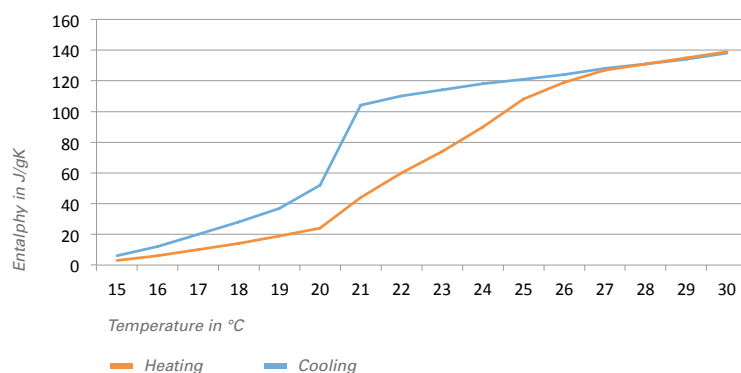
ClimSel™ C21

Phase change performance curves

Part enthalpy



Enthalpy



Orange curve shows performance during melting (to be read from left to right).

Blue curve shows performance during crystallisation (to be read from right to left).

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
www.climator.com
climator@climator.com

Climator
moving energy in time

150610-1

ClimSel™ C24



Transport



Room



Body

Typically used for temperature stabilized transports of refrigerated products.
Also used for passive cooling of buildings and of people/animals.

Typical temperature stabilization span

24°C ↔ 27°C

75°F ↔ 81°F

Product description

ClimSel™ C24 is a salt hydrate based Phase Change Material that works by either the charging or discharging of energy at different temperatures. ClimSel™ C24 is delivered in various sizes of aluminium foil pouches. Its main components are sodium sulphate, water and additives.

Physical data

Phase change temperature: Solid	24°C / 75°F
Phase change temperature: Liquid	27°C / 81°F
Latent heat of fusion (see curve)	40 Wh/kg – 140 kJ/kg
Specific gravity	1.4 kg/litre
Thermal conductivity: Solid	0.74 W/m/°K
Thermal conductivity: Liquid	0.93 W/m/°K

Estimated functionality time

If the products are handled correctly, and the packaging is kept uncompromised, the product will continue to cycle as intended over time, with no known lifetime limit.

Note: ClimSel™ C24 will only work as declared for as long as the pouch is intact.

Usage guidelines

- Recommended storage temperature: 10-20°C / 50-60°F.
- Preparation before use depends on application conditions.
- Handle the ClimSel™ C24 pouch with care and do not bend when solid.
- Do not use damaged pouch, as the product functionality will be compromised.

Damaged products

- If damaged pouch is suspected, it shall be thoroughly inspected before use.
- Damaged products shall be discarded and treated in accordance with federal, state and local requirements for EWC (=European Waste code) = 060314.

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

Phone: +46 (0)500 48 23 50
Fax : +46 (0)500 41 40 42
E-mail: climator@climator.com

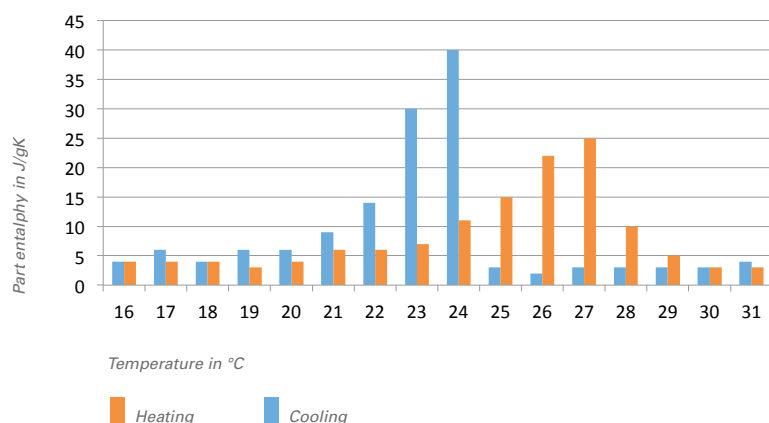
Climator
moving energy in time

150610-1

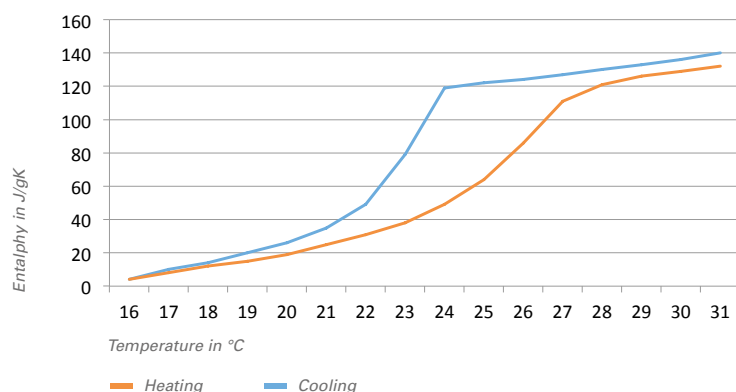
ClimSel™ C24

Phase change performance curves

Part enthalpy



Enthalpy



Orange curve shows performance during melting (to be read from left to right).
 Blue curve shows performance during crystallisation (to be read from right to left).

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
 Mejselvägen 15
 SE-541 34 Skövde
 SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
 www.climator.com
 climator@climator.com

Climator
 moving energy in time

150610-1

ClimSel™ C28



Body



Equipment

Typically used for passive heating or cooling of people and animals, as well as for temperature stabilization of electronics.

Typical temperature stabilization span

27°C ↔ 31°C

80°F ↔ 88°F

Product description

ClimSel™ C28 is a salt hydrate based Phase Change Material that works by either the charging or discharging of energy at different temperatures. ClimSel™ C28 is delivered in various sizes of aluminium foil pouches. Its main components are sodium sulphate, water and additives.

Physical data

Phase change temperature: Solid	27°C / 80°F
Phase change temperature: Liquid	31°C / 88°F
Latent heat of fusion (see curve)	45 Wh/kg – 170 kJ/kg
Specific gravity	1.4 kg/litre
Thermal conductivity: Solid	0.98 W/m/°K
Thermal conductivity: Liquid	0.72 W/m/°K

Estimated functionality time

If the products are handled correctly, and the packaging is kept uncompromised, the product will continue to cycle as intended over time, with no known lifetime limit.

Note: ClimSel™ C28 will only work as declared for as long as the pouch is intact.

Usage guidelines

- Recommended storage temperature: 10-20°C / 50-60°F.
- Preparation before use depends on application conditions.
- Handle the ClimSel™ C28 pouch with care and do not bend when solid.
- Do not use damaged pouch, as the product functionality will be compromised.

Damaged products

- If damaged pouch is suspected, it shall be thoroughly inspected before use.
- Damaged products shall be discarded and treated in accordance with federal, state and local requirements for EWC (=European Waste code) = 060314.

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
www.climator.com
climator@climator.com

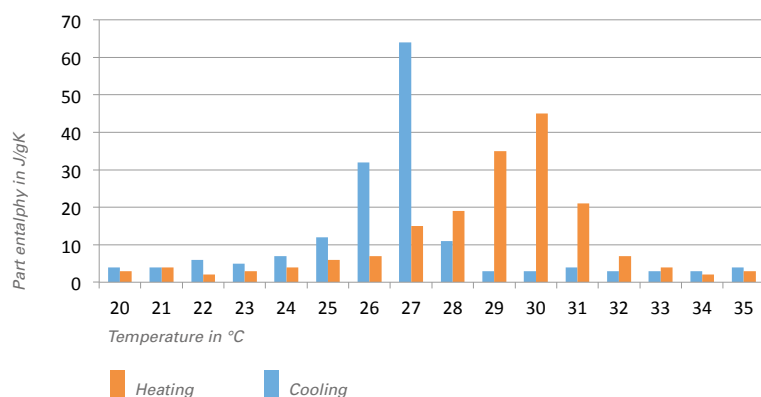
Climator
moving energy in time

150610-1

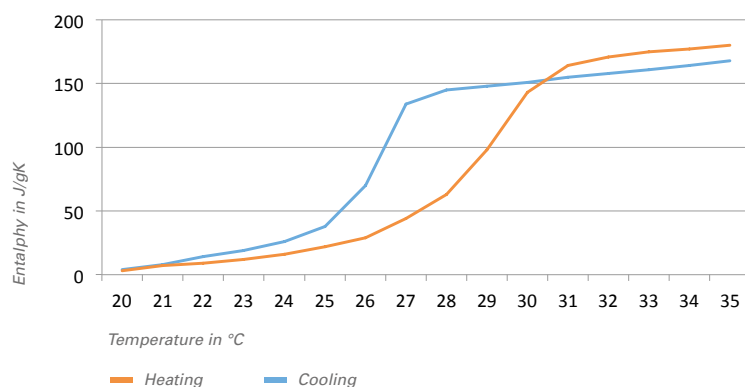
ClimSel™ C28

Phase change performance curves

Part enthalpy



Enthalpy



Orange curve shows performance during melting (to be read from left to right).

Blue curve shows performance during crystallisation (to be read from right to left).

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
www.climator.com
climator@climator.com

Climator
moving energy in time

150610-1

ClimSel™ C32



Body



Equipment

Typically used for passive heating of people and animals, as well as for temperature stabilization of electronics.

Typical temperature stabilization span

29°C ↔ 32°C

84°F ↔ 90°F

Product description

ClimSel™ C32 is a salt hydrate based Phase Change Material that works by either the charging or discharging of energy at different temperatures. ClimSel™ C32 is delivered in various sizes of aluminium foil pouches. Its main components are sodium sulphate, water and additives.

Physical data

Phase change temperature: Solid	29°C / 84°F
Phase change temperature: Liquid	32°C / 90°F
Latent heat of fusion (see curve)	44 Wh/kg – 160 kJ/kg
Specific gravity	1.4 kg/litre
Thermal conductivity: Solid	0.76 W/m/°K
Thermal conductivity: Liquid	1.08 W/m/°K

Estimated functionality time

If the products are handled correctly, and the packaging is kept uncompromised, the product will continue to cycle as intended over time, with no known lifetime limit.

Note: ClimSel™ C32 will only work as declared for as long as the pouch is intact.

Usage guidelines

- Recommended storage temperature: 10-20°C / 50-60°F.
- Preparation before use depends on application conditions.
- Handle the ClimSel™ C32 pouch with care and do not bend when solid.
- Do not use damaged pouch, as the product functionality will be compromised.

Damaged products

- If damaged pouch is suspected, it shall be thoroughly inspected before use.
- Damaged products shall be discarded and treated in accordance with federal, state and local requirements for EWC (=European Waste code) = 060314.

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
www.climator.com
climator@climator.com

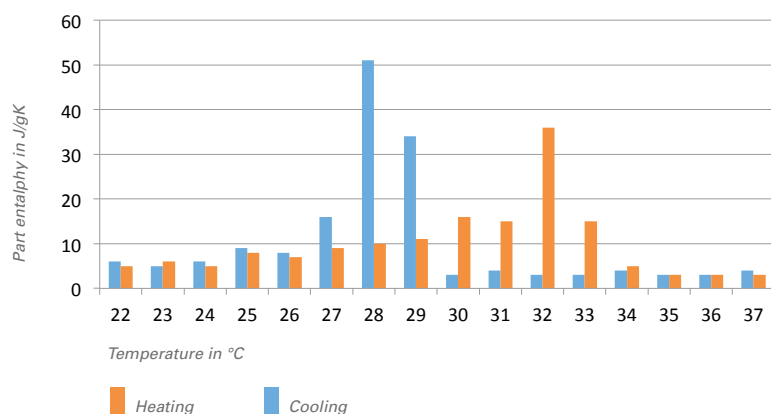
Climator
moving energy in time

150610-1

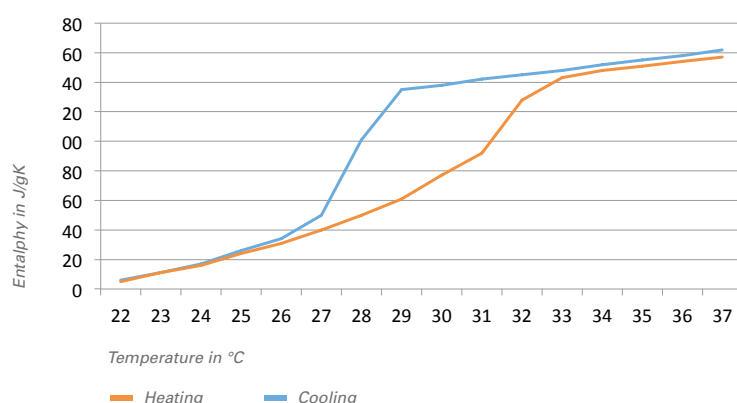
ClimSel™ C32

Phase change performance curves

Part enthalpy



Enthalpy



Orange curve shows performance during melting (to be read from left to right).

Blue curve shows performance during crystallisation (to be read from right to left).

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB
Mejselvägen 15
SE-541 34 Skövde
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50
www.climator.com
climator@climator.com

Climator
moving energy in time

MPCM 18

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 18°C, 64.4°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 18 product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Wet cake (70% Solids, 30% Water)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	14-24 micron
Melting Point	18°C (64.4°F)
Heat of Fusion	180 - 190 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 250 pounds net weight (175 pounds nominal dry weight). Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM 18D

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 18°C, 64.4°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 18D product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Dry Powder (≥97% Solids)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	15 - 30 micron
Melting Point	18°C (64.4°F)
Heat of Fusion	180 - 190 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 140 pounds net weight. Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM 24

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 24°C, 75.2°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 24 product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Wet cake (70% Solids, 30% Water)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	14-24 micron
Melting Point	24°C (75.2°F)
Heat of Fusion	145 - 155 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 250 pounds net weight (175 pounds nominal dry weight). Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM 24D

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 24°C, 75.2°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 24D product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Dry Powder (≥97% Solids)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	15 - 30micron
Melting Point	24°C (75.2°F)
Heat of Fusion	154 - 164 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 140 pounds net weight. Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM 28

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 28°C, 82.4°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 28 product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Wet cake (70% Solids, 30% Water)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	14-24 micron
Melting Point	28°C (82.4°F)
Heat of Fusion	180 - 190 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 250 pounds net weight (175 pounds nominal dry weight). Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM 28D

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 28°C, 82.4°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 28D product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Dry Powder (≥97% Solids)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	15 - 30 micron
Melting Point	28°C (82.4°F)
Heat of Fusion	180 - 190 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 140 pounds net weight. Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM28D-IR

Ignition Resilient Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 28°C, 82.4°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material - the PCM - and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to approximately 75°C, that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

Recent research advances at Microtek Laboratories have yielded encapsulated phase change materials with ignition-resilient properties. Microtek's phase change material microcapsules provide a solution to the ever increasing desire from consumers for increased energy efficiency in building materials. These patent-pending ignition-resilient microcapsules provide all the benefits of the original capsules with the added safety features required to meet today's stringent flame retardant regulations. The microcapsules have high thermal stability, flexibility throughout repeated thermal cycling, and ignition resilience conforming to ASTM C1485-00 when used in cellulose insulation.



Shown above: ASTM test panel filled with blown insulation incorporated with Microtek's ignition-resilient phase change material microcapsules demonstrating the effectiveness of the MPCM28D-IR material at rapidly stopping the progression of the ignited insulation.

PROPERTIES

The MPCM28D-IR product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Dry powder
Capsule composition	70-80% wt. % PCM 20-30 wt. % polymer shell
Core material	Paraffins or methyl esters
Particle size (mean)	15-25 micron
Melting point range	25-32°C (77-90°F)
Heat Capacity	160-180 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable - less than 1 % leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 140 pounds net weight. Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

The product is classified as non-hazardous. Please refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for necessary safety and handling precautions for this product.

CONTACT INFORMATION

Please contact Microtek Laboratories, Inc. (www.microteklabs.com) at 937-236-2213 for more details on this product and how it might be adapted to suit your specific building material needs.

MPCM 32

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 32°C, 89.6°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 32 product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Wet cake (70% Solids, 30% Water)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	14-24 micron
Melting Point	32°C (89.6°F)
Heat of Fusion	160 - 170 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 250 pounds net weight (175 pounds nominal dry weight). Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



MPCM 32D

Microencapsulated Phase Change Material

Phase Change: 32°C, 89.6°F

DESCRIPTION

Microencapsulated phase change materials (MicroPCMs) are very small bi-component particles consisting of a core material, the PCM, and an outer shell or capsule wall. PCMs are low melting materials with melt points in the range of -30°C to 70°C that can absorb and release large amounts of heat. The capsule wall is an inert, stable polymer or plastic.

APPLICATIONS

Microencapsulated PCMs are used to regulate temperatures and for heat storage in a variety of applications.

A primary use of the microPCM products is in the coating of fabrics and foams for the textile industry. The coated materials have broad applications for use in various wearing apparel such as inner and outer garments, gloves and footwear. These end-use products containing microPCMs work by absorbing the body's excess heat, storing that heat, and releasing it back to the body as needed.

Microencapsulated PCMs are also finding widespread use in several other application areas, including in:

- **Electronics** - for cooling electrical components in computers, increasing duty cycles in lasers, and helping maintain constant temperatures for scientific instrumentation and military equipment used in the field.
- **Building Materials** – to increase the energy efficiency of residential and commercial buildings. The materials are being used in combination with radiant heat and solar energy to extend the heating and cooling efficiencies of these systems. PCMs are also being incorporated in plasters, fiberboards, tiles, and insulation.
- **Storage Solutions** – to protect food, beverages, medical products, and temperature-sensitive chemicals in transit.

PROPERTIES

The MPCM 32D product exhibits the following general properties:

Typical Properties

Appearance	White to slightly off-white color
Form	Dry Powder (≥97% Solids)
Capsule composition	85-90 wt.% PCM 10-15 wt.% polymer shell
Core material	Paraffin
Particle size (mean)	15 - 30 micron
Melting Point	32°C (89.6°F)
Heat of Fusion	160 - 170 J/g
Specific Gravity	0.9
Temperature Stability	Extremely stable – less than 1% leakage when heated to 250°C
Thermal Cycling	Multiple

PACKAGING

This product is generally shipped in 50-gallon fiber drums of 140 pounds net weight. Sample quantities may be ordered for customers requiring smaller amounts of product.

HEALTH AND SAFETY

Please refer to the Safety Data Sheet (SDS) for necessary safety and handling precautions for this product.



PCM Energy P. Ltd	PCM Latest™
Product	Latest™29T also any other grade like Latest™18T, Latest™20T, Latest™22T, Latest™25T
Series	T-series Latest™
Description	Viscous Semi-Solid near Phase Change Temperature
Appearance	Translucent
Base Material	Inorganic Salts
Phase Change Temperature	28°-30°C
Sub Cooling	2°C max
Specific Gravity	1.48-1.50
Latent Heat Practically	175 Joules/g
Latent Heat Theoretical	188 Joules/g
Spec. Heat	2 Joules/g°C
Thermal Conductivity	1 Watt/m °C
Congruent Melting	Yes
Flammability	No
Hazardous	No
Thermal Stability	> 10000 cycles
Max. Operating Temperature	100°C
Rates	Available on request